



# Développement d'une filière intégrée de recyclage des batteries lithium

Travaux pilotés par le  
**Comité Stratégique de Filière  
Mines et Métallurgie**

Sous la coordination de :



Avec le support de :



- Février 2020 -

## SOMMAIRE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
I.1	DE LA MISSION « BATTERIE » AU PROJET « RECYCLAGE ».....	4
I.2	ORGANISATION DES GROUPES DE TRAVAIL.....	6
I.3	PARTICIPANTS AUX GROUPES DE TRAVAIL.....	8
I.4	PRINCIPALES CONCLUSIONS SUR L'ORGANISATION DE LA FILIERE.....	9
<b>II.</b>	<b>SYNTHESE.....</b>	<b>11</b>
<b>III.</b>	<b>EVALUATION DES MARCHES 2018-2035 DU RECYCLAGE ET DE LA SECONDE VIE DES BATTERIES, ISSUES DE LA MOBILITE ET DU STOCKAGE STATIONNAIRE .....</b>	<b>13</b>
III.1	ROADMAP BESOIN BATTERIE POUR LA MOBILITE .....	13
III.1.1	<i>Volume de batteries pour la mobilité .....</i>	13
III.1.2	<i>Technologies de batteries de la mobilité .....</i>	17
III.2	ROADMAP DU POTENTIEL DE DEPLOIEMENT DU NOUVEAU STOCKAGE PAR BATTERIES DANS LES SYSTEMES ELECTRIQUES FRANÇAIS ET EUROPEEN.....	24
III.3	ROADMAP FIN DE VIE DES BATTERIES .....	27
III.3.1	<i>Hypothèses retenues pour la fin de vie des batteries.....</i>	27
III.3.2	<i>Volumes de batteries arrivant en fin de vie en Europe.....</i>	28
III.4	GWh DE BATTERIES POTENTIELLEMENT DISPONIBLES POUR UNE « SECONDE VIE » EN EUROPE.....	29
III.5	POINTS SAILLANTS A RETENIR .....	32
<b>IV.</b>	<b>ETAT DES LIEUX ET RECOMMANDATIONS POUR UN MARCHÉ « SECONDE VIE » DES BATTERIES.....</b>	<b>33</b>
IV.1	ETAT DES LIEUX.....	33
IV.2	POSITIONNEMENT DES INDUSTRIELS SUR L'ETAPE DE LA SECONDE VIE DES BATTERIES .....	34
IV.3	RECOMMANDATIONS POUR L'EMERGENCE D'UNE OFFRE FRANÇAISE SUR LA SECONDE VIE.....	37
IV.3.1	<i>SWOT « seconde vie » des batteries.....</i>	37
IV.3.2	<i>Conditions de réussite de la seconde vie des batteries.....</i>	38
IV.3.3	<i>Bilan et recommandations préliminaires .....</i>	38
<b>V.</b>	<b>ETAT DES LIEUX ET RECOMMANDATIONS POUR UN MARCHÉ DU RECYCLAGE DES BATTERIES ISSUES DE LA MOBILITE .....</b>	<b>40</b>
V.1	DIFFERENTES OPTIONS METALLURGIQUES DE RECYCLAGE .....	40
V.2	LA CHAÎNE DE VALEUR DU RECYCLAGE.....	43
V.3	BENCHMARK ET PANORAMA CONCURRENTIEL.....	45
V.3.1	<i>Acteurs français, européens et internationaux du recyclage des batteries .....</i>	45
V.3.2	<i>Focus sur le modèle chinois.....</i>	47
V.3.3	<i>De nouveaux acteurs, uniquement à l'international .....</i>	47
V.3.4	<i>Conclusions préliminaires sur le positionnement de la filière de recyclage française .....</i>	48

---

V.4	ORGANISATION, COUTS ET CREATION DE VALEUR SUR LA CHAINE DU RECYCLAGE .....	50
V.4.1	<i>Déterminants des modèles d'affaires : exemple du nickel</i> .....	52
V.4.2	<i>Simulation de la valeur créée pour les principaux métaux de la batterie (Co, Cu, Li)</i> .....	53
V.4.3	<i>Conclusions préliminaires sur les modèles d'affaires</i> .....	54
V.5	ETAT DES LIEUX ET RECOMMANDATIONS PRELIMINAIRES DE LA R&D RECYCLAGE .....	55
V.5.1	<i>Panorama des acteurs R&amp;D en France</i> .....	55
V.5.2	<i>Bilan et recommandations préliminaires pour la R&amp;D recyclage en France</i> .....	57
V.6	ETAT DES LIEUX ET RECOMMANDATIONS PRELIMINAIRES SUR LA REGLEMENTATION RECYCLAGE .....	58
V.6.1	<i>Recommandations sur le transport de marchandises dangereuses</i> .....	58
V.6.2	<i>Recommandations sur le transfert transfrontalier</i> .....	58
V.6.3	<i>Recommandation portant sur la mise en œuvre de la réglementation</i> .....	59
V.6.4	<i>Éléments relatifs au règlement REACH</i> .....	59
V.7	ETUDE LANCEE POUR UNE ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL D'UN RECYCLAGE EN FRANCE	63
	BATTERIES NEUVES.....	67
	BATTERIES « SECONDE VIE ».....	68

## I. Introduction

### I.1 De la mission « BATTERIE » au projet « RECYCLAGE »

Le Comité Stratégique de Filière (CSF) Mines et Métallurgie, labellisé le 28 mai 2018 (signature du contrat de filière le 18 janvier 2019), se positionne comme référent sur les questions de matières premières (primaires ou secondaires) métalliques. Le CSF a identifié plusieurs projets structurants pour la filière des métaux, parmi lesquels celui du recyclage des batteries lithium.

#### Un projet stratégique pour l'industrie française

La France compte déjà des acteurs dans le recyclage des batteries au plomb, piles alcalines salines, NiMH et aussi les batteries lithium. C'est cependant ce dernier type de batteries qui devrait connaître le plus fort développement, avec des volumes en très forte croissance à partir de 2022-25, tiré par l'essor du marché des véhicules électriques.

**L'industrie française dispose d'atouts significatifs pour devenir un acteur majeur du recyclage des batteries lithium**, notamment l'existence d'un nombre important d'acteurs du recyclage maîtrisant toutes les étapes de la collecte, de la transformation et de la valorisation des batteries. Ces entreprises françaises disposent par ailleurs actuellement d'un avantage concurrentiel par rapport aux autres acteurs européens avec une offre globalement plus importante en termes de capacité et de très bonnes compétences technologiques leur permettant d'être plus innovantes et potentiellement plus compétitives.

Le paysage industriel du recyclage des batteries va cependant devoir évoluer fortement ces prochaines années : de nouvelles capacités vont devoir être créées et la filière va devoir renforcer son développement dans un cadre d'économie circulaire, avec des taux de recyclage plus élevés (plus de métaux recyclés) et des produits plus technologiques (réutilisables par l'industrie de la batterie). La filière va devoir aussi améliorer sa compétitivité pour financer ses investissements et résister à ses concurrents non européens et en premier lieu asiatiques.

**Nous avons aujourd'hui l'opportunité d'utiliser cette filière de recyclage des batteries lithium pour :**

- **Construire une filière batteries française intégrée, plus compétitive et différenciante sur le plan environnemental.**
- **Sécuriser une partie de notre approvisionnement en métaux stratégiques.**

Ce second point apparaît particulièrement prégnant, compte-tenu de la forte dépendance de l'Union européenne aux importations de matières premières, mais aussi de produits transformés entrant dans la fabrication des batteries lithium.

**Des risques accrus de disponibilité, pour le nickel et le cobalt notamment, sont déjà identifiés à partir de 2025.** Ces risques sont liés au temps de développement des projets miniers et industriels et non pas à la disponibilité géologique des matières premières. Les scénarios ambitieux de diffusion des véhicules électrifiés (jusqu'à 71% du parc mondial) sont par exemple jugés tout à fait compatibles avec les réserves déjà identifiées de lithium. Néanmoins, des questions de dépendance aux importations et des problématiques environnementales ou éthiques renforcent la nécessité d'un approvisionnement européen et responsable, dont le recyclage est un élément important.

La prédominance asiatique, et notamment chinoise, est accentuée par deux phénomènes conjoints :

- Le contrôle par des intérêts chinois de matières premières à l'étranger : il est estimé ainsi que 50 à 60% de la production de cobalt en République Démocratique du Congo est sous contrôle chinois.
- L'accélération des investissements en Chine dans la production de cellules/modules : plus de 90% des cellules/modules sont produits actuellement en Asie.

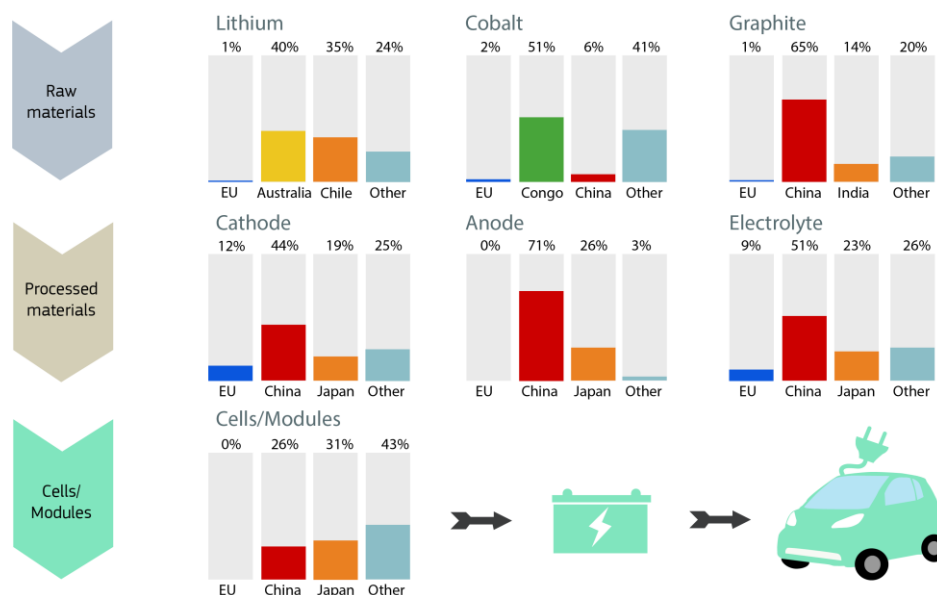


Figure 1 : Dépendance à l'égard de l'approvisionnement en matériaux tout au long de la chaîne de valeur pour les batteries de véhicules électriques (Source : JRC - 2017)

Du fait de l'importance environnementale, industrielle et stratégique de cette filière et de la concurrence forte de nombreux acteurs, en particulier asiatiques, le développement de cette filière stratégique doit être anticipé, structuré entre acteurs privés sur toute la chaîne de valeur et accompagné par les pouvoirs publics.

### Un projet s'inscrivant dans le cadre de la mission batterie du CNI

Ce projet constitue le deuxième volet de la mission « BATTERIE » (décembre 2017 – mai 2018), pour laquelle le Conseil National de l'Industrie (CNI) avait missionné la PFA, France Chimie et le CEA-Liten pour l'établissement de recommandations visant l'émergence d'une offre de cellules de batteries en France.

Parmi ces recommandations, le groupe de travail<sup>1</sup> avait insisté sur la nécessité de renforcer l'offre du recyclage et de la « seconde vie » des batteries en France, sans pouvoir néanmoins développer ces sujets.

Le projet s'inscrit également dans le cadre des initiatives européennes (pour lesquelles la DGE assure le lien), qui préconisent l'émergence d'une offre de recyclage de batterie en Europe, tant pour garantir l'accès aux matières premières que pour limiter au maximum l'empreinte environnementale de la filière<sup>2</sup>.

**L'objectif de la mission est :**

- D'établir une vision, commune à l'ensemble des acteurs privés, du marché du recyclage des batteries lithium en Europe, des enjeux, des besoins et des priorités de la filière.
- De partager ce diagnostic avec les pouvoirs publics.
- D'établir des recommandations précises pour le développement d'une filière française intégrée de recyclage des batteries lithium.

## **1.2 Organisation des groupes de travail**

La mission s'est organisée en 9 groupes de travail (GT), pilotés par des industriels représentant l'ensemble de la chaîne de la valeur du recyclage des batteries lithium (Figure ).

Les travaux ont été menés principalement de mi-2018 à mi-2019.

---

<sup>1</sup> PFA, UIC, SAFT, BLUE SOLUTIONS, Eramet, A3M, et CEA Liten

<sup>2</sup> [Communication de la Commission \(COM\(2018\) 293 final et ses annexes](#), 17 mai 2018, relative à l'Europe en mouvement – une mobilité durable pour l'Europe : sûre, connectée et propre

*Pilote Mission : Pierre-Alain Gautier ERAMET*

*Coordination des travaux : Pierrick Drapeau A3M et Marianne Chami CEA Liten*

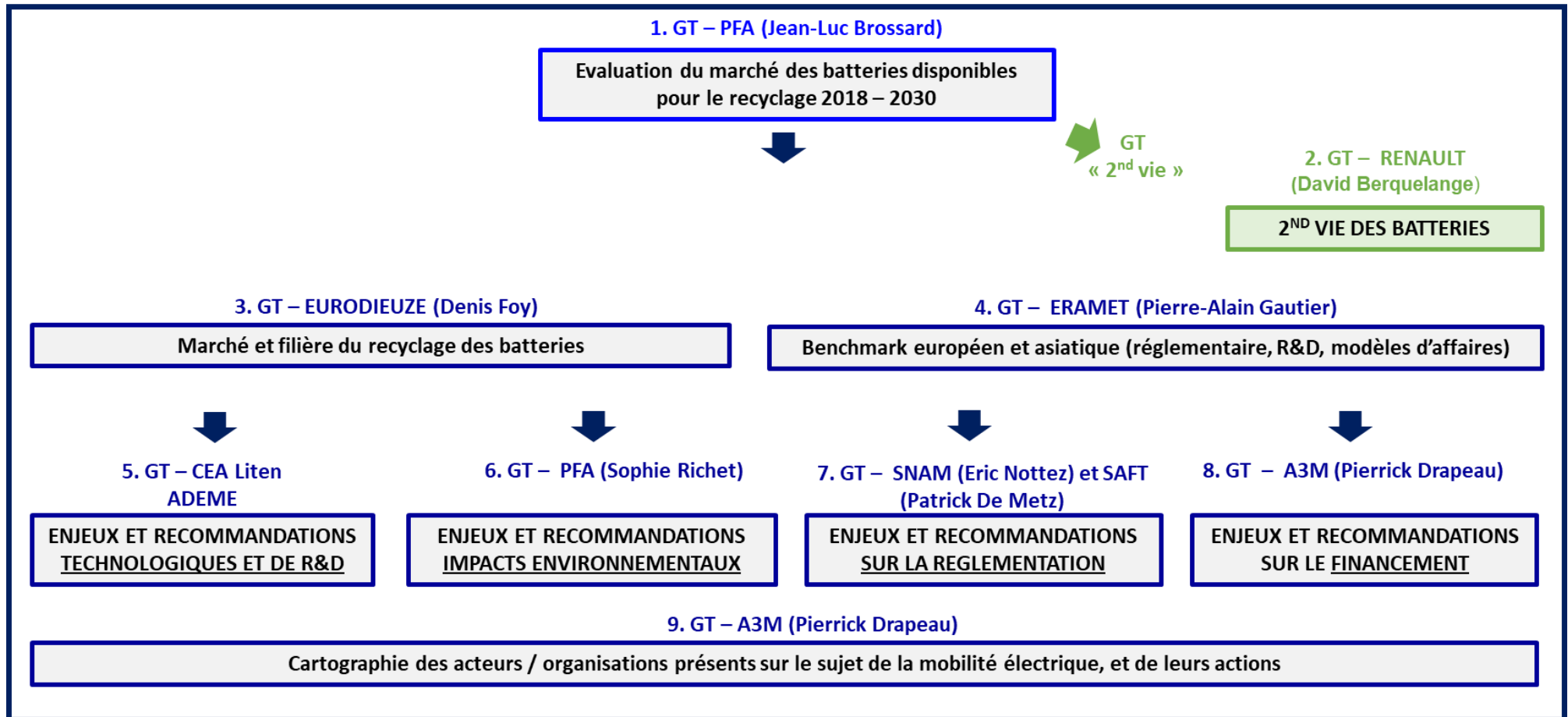


Figure 2: Organigramme des groupes de travail du projet "Recyclage batterie"

**1.3 Participants aux groupes de travail**

<b>Nom</b>	<b>Entreprise</b>
<b>Pierrick Drapeau</b>	A3M
<b>Nadia Mandret</b>	A3M
<b>Catherine Tissot-Colle</b>	A3M
<b>Rachel Baudry</b>	ADEME
<b>Olga Kergaravat</b>	ADEME
<b>Julien Bouby</b>	Blue Solutions
<b>Dorothée Coucharrière</b>	Blue Solutions
<b>Jean-Luc Girault</b>	Blue Solutions
<b>Anne Molitor</b>	CCFA
<b>Marianne Chami</b>	CEA Liten
<b>Florence Lambert</b>	CEA Liten
<b>Emmanuella Zogbe</b>	Evolis (Ex CISMA)
<b>Aurélie Lecureuil</b>	DGALN
<b>Etienne Brière</b>	EDF R&D
<b>Aurélien Hascoat</b>	EDF
<b>Bertrand Lasserre</b>	EDF
<b>Andreï Nekrasov</b>	EDF R&D
<b>Stéphane Chorlet</b>	Eramet VALDI
<b>Pierre-Alain Gautier</b>	Eramet
<b>Olivier Sutterlin</b>	Eramet
<b>Denis Foy</b>	Euro Dieuze SARPI Veolia
<b>Christophe Crespin</b>	Metal Blanc
<b>Jean-Luc Brossard</b>	PFA
<b>Marc Mortureux</b>	PFA
<b>Laurent Fabre</b>	PSA
<b>Jérémie Maestracci</b>	PSA
<b>Mohamed Mghaieth</b>	PSA



<b>Sophie Richet</b>	PSA
<b>Damien-Pierre Sainflou</b>	PSA
<b>David Berquelange</b>	Renault
<b>Daniele Capelli</b>	Renault
<b>Bertrand Cherpin</b>	Renault
<b>Jean-Denis Curt</b>	Renault
<b>Guillaume Latte</b>	Renault
<b>Stéphane Morel</b>	Renault
<b>François Ruelle</b>	Renault
<b>Patrick de Metz</b>	SAFT
<b>Clémence Siret</b>	SAFT
<b>Eric Nottez</b>	SNAM
<b>Mathias Laffont</b>	UFE
<b>Anne-Sophie Desaleux</b>	RTE
<b>Claire Lajoie-Mazenc</b>	RTE

Figure 3: Participants à la mission "Recyclage batterie"

#### **1.4 Principales conclusions sur l'organisation de la filière**

- Ces travaux ont permis d'établir **une base de données chiffrées** à utiliser par l'ensemble des acteurs (**analyse du marché du recyclage, panorama concurrentiel, analyse des marchés de la seconde vie**).
- Ils ont permis aussi de lancer une **Analyse du Cycle de Vie (ACV) sur les batteries**, coordonnée par l'Ademe et qui devrait être finalisée au premier semestre 2020.
- Ces travaux ont défini **un consensus sur les enjeux et les priorités de la filière, ses forces et ses challenges, résumés dans la synthèse ci-dessous**. Le développement d'une offre recyclage intégrée à une filière batteries française et/ou européenne naissante est pertinente et nécessaire pour plusieurs raisons identifiées dans le rapport (telles que la sécurisation de nos matières premières, les synergies donc la compétitivité, les enjeux environnementaux).
- **Néanmoins, des freins restent à lever pour définir des actions ou projets transversaux à la filière qui pourraient être engagés à court terme** (hors projets de développements industriels portés par les recycleurs eux-mêmes, ou accords de partenariats bilatéraux entre OEMs et recycleurs déjà en vigueur) :

- Les acteurs avals doivent d'abord faire émerger à court terme une offre française/européenne de batteries et de véhicules électriques.
- A court terme, les OEMs ont déjà des contrats de recyclage qui sécurisent leur obligation de recyclage pour les quelques années à venir.
- La filière recyclage n'est pas assez rentable pour attirer de nouveaux acteurs sur le marché français. Ces nouveaux acteurs devraient en outre investir massivement pour acquérir un savoir-faire métallurgique qui crée une barrière à l'entrée importante.

## II. Synthèse

### VERS UNE INDUSTRIE DU RECYCLAGE : DES ATOUTS FRANÇAIS AU SERVICE D'ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET DE SOUVERAINETE

1. **Le développement du recyclage participe à la sécurisation de l'amont de nos chaînes de valeur industrielles dans une vision intégrée** : il leur permet d'être complètes pour être plus fortes, plus résilientes et plus compétitives.
2. **La croissance des besoins en recyclage de batteries lithium devrait être rapide et il est estimé que les capacités françaises et européennes seront très insuffisantes dès 2027** : les acteurs européens, dont les recycleurs français, devront multiplier par trois leurs capacités de traitement à cette date.
3. **La France est actuellement bien positionnée et dispose d'atouts pour devenir le leader européen du recyclage des batteries, mais se laisse distancer, par ses partenaires européens, et par ses concurrents internationaux** qui investissent massivement dans des programmes ambitieux, tout à la fois en termes de capacités de traitement et de maximisation de la valeur ajoutée.

### MODELES D'AFFAIRES DU RECYCLAGE ET BESOINS DE LA SECONDE VIE

4. A ce jour, la rentabilité de l'activité de recyclage de batteries lithium est faible, voire négative : **de nouveaux modèles d'affaires doivent se mettre en place sur toute les étapes de la filière.**
5. Au-delà du modèle initial focalisé sur la gestion environnementale de la fin de vie des batteries, et à l'instar de la concurrence asiatique, **la filière française doit développer une offre complémentaire avec plus de valeur ajoutée et destinée à être utilisée dans la fabrication de nouvelles batteries.** Cela lui permettra **d'améliorer sa rentabilité, de financer les investissements nécessaires à l'accroissement de la capacité installée en France et de participer pleinement à la sécurisation d'approvisionnement en matières premières de la chaîne de valeur batteries.**
6. **Il existe un potentiel de seconde vie des batteries, au moins à court terme (7 à 8 ans),** marché sur lequel des acteurs français sont déjà positionnés. Les volumes resteront limités au regard des besoins de la mobilité et du recyclage et le développement de ce secteur restera dépendant de nombreux facteurs (rentabilité du recyclage, besoins en stockage d'énergie stationnaire, etc.).

### UNE PRIORITE : PERMETTRE LA MONTEE EN CAPACITE DES INSTALLATIONS DE RECYCLAGE, EN PARALLELE DE L'EFFORT R&D

7. **Le soutien à la R&D est primordial pour rendre plus compétitives les opérations de recyclage. L'investissement dans les capacités de production et les pilotes industriels doit aussi être soutenu par la puissance publique** : un PIEEC (Projet important d'intérêt européen commun) relatif au

recyclage des batteries, complétant celui sur la fabrication des cellules, est recommandé pour anticiper les investissements industriels et « dérisquer » la croissance de la filière.

8. **Les bénéfices environnementaux de la fabrication et du recyclage des batteries devraient être pris en compte pour favoriser la production de batteries françaises** : une analyse cycle de vie a été lancée et est en cours de réalisation, avec le soutien de l'ADEME et de la DGE.
  
9. **Les évolutions réglementaires à venir devront être adaptées au développement d'une filière responsable et compétitive et soutenir l'émergence de leaders français du recyclage des batteries lithium au niveau mondial.**

### III. Evaluation des marchés 2018-2035 du recyclage et de la seconde vie des batteries, issues de la mobilité et du stockage stationnaire

Le Groupe de Travail 1 (GT1), piloté par Jean-Luc Brossard (PFA), a tout d'abord réalisé une mise à jour du rapport intermédiaire de la mission CNI batterie, livré le 28 mai 2018 (mise à jour des prévisions du besoin batteries pour la mobilité électrifiée). Ensuite, pour la mission recyclage, le GT a fourni les échéances des batteries (volumes en GWh et technologies) disponibles pour le marché du recyclage ou intermédiairement pour celui de la « seconde vie ».

#### III.1 Roadmap besoin batterie pour la mobilité

##### III.1.1 Volume de batteries pour la mobilité

L'Enquête Mix Énergétique PFA / BIPE 2018 modélise l'évolution des marchés automobiles jusqu'à l'horizon 2035 en les segmentant par chaîne de traction (ou énergie). Elle se base sur des hypothèses prévisionnelles relatives à l'énergie (le prix du baril), la macro-économie, la réglementation et la technologie, et cela dans une vision argumentée et indépendante des objectifs commerciaux d'entreprises ou des objectifs politiques. Le scénario retenu est celui du « green constraint », fondé sur une croissance économique modérée et une forte réglementation environnementale.

La Figure 1 et la

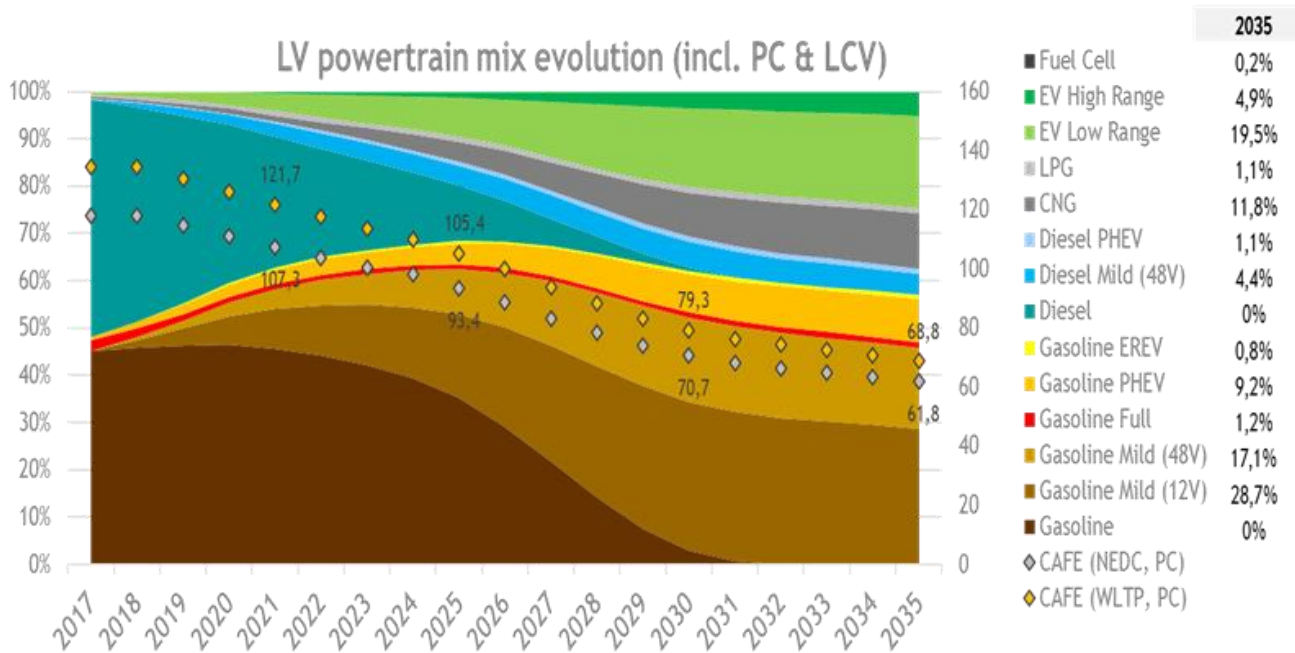


Figure 2 présentent l'évolution attendue du mix énergétique des véhicules légers (VL)<sup>3</sup> et la Figure 3 donne les perspectives des véhicules industriels (VI)<sup>4</sup> en Europe entre 2018 et 2035, dans le scénario de référence « green constraint ».

**Il est à noter que la filière considère ces estimations comme prudentes et raisonnables pour supporter des cas d'investissement.**

**Entre 2018 et 2030, en Europe, pour les deux catégories de véhicules VL et VI, les données prévoient :**

- Un accroissement du besoin en batterie, qui sera multiplié par 10 en 12 ans, pour atteindre environ 210 GWh en 2030 pour les VL, 275 GWh pour les VL + VI. S'agissant du scénario « green constraint », c'est un chiffre nominal et non maximal.
- Un écart du besoin batterie pour les BEV<sup>5</sup> face à celui des PHEV, qui se creuse nettement en faveur de celui des BEV.
- La part des VI restera plus de deux fois inférieure à celle des VL (en 2030, un besoin batteries d'environ 65 GWh pour les VL).

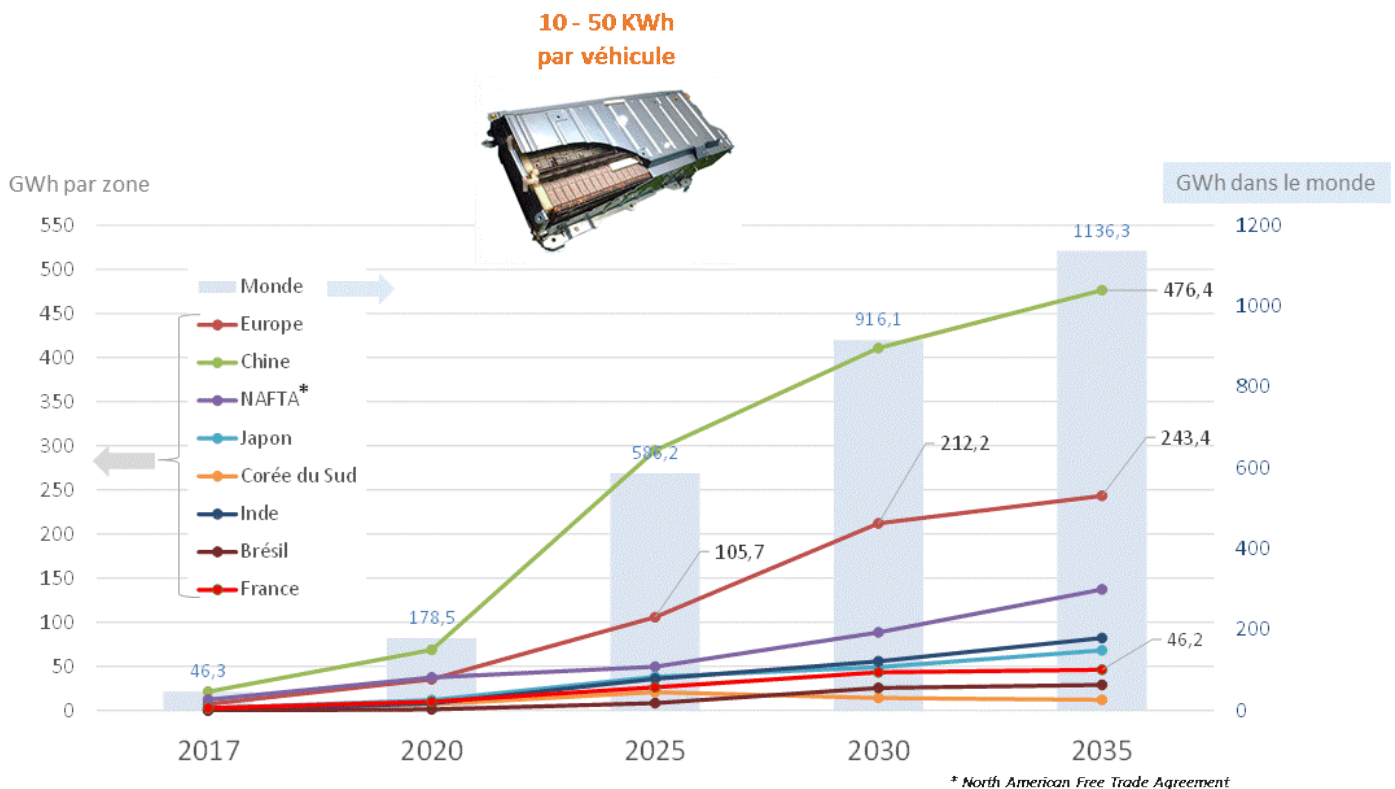


Figure 1 : Pour les VL, besoin Batterie par zone selon scénario "green constraint", source PFA/BIPE octobre 2018

<sup>3</sup> Véhicules légers (VL) = véhicules particuliers (VP) + utilitaires légers (VUL)

<sup>4</sup> Véhicules Industriels (VI) = véhicules lourds y compris de transport de passagers

<sup>5</sup> BEV : Battery Electric Vehicle = Full EV, sans moteur à combustion thermique. PHEV : Plug-in Electric Vehicle, véhicule électrique rechargeable sur une prise de courant.

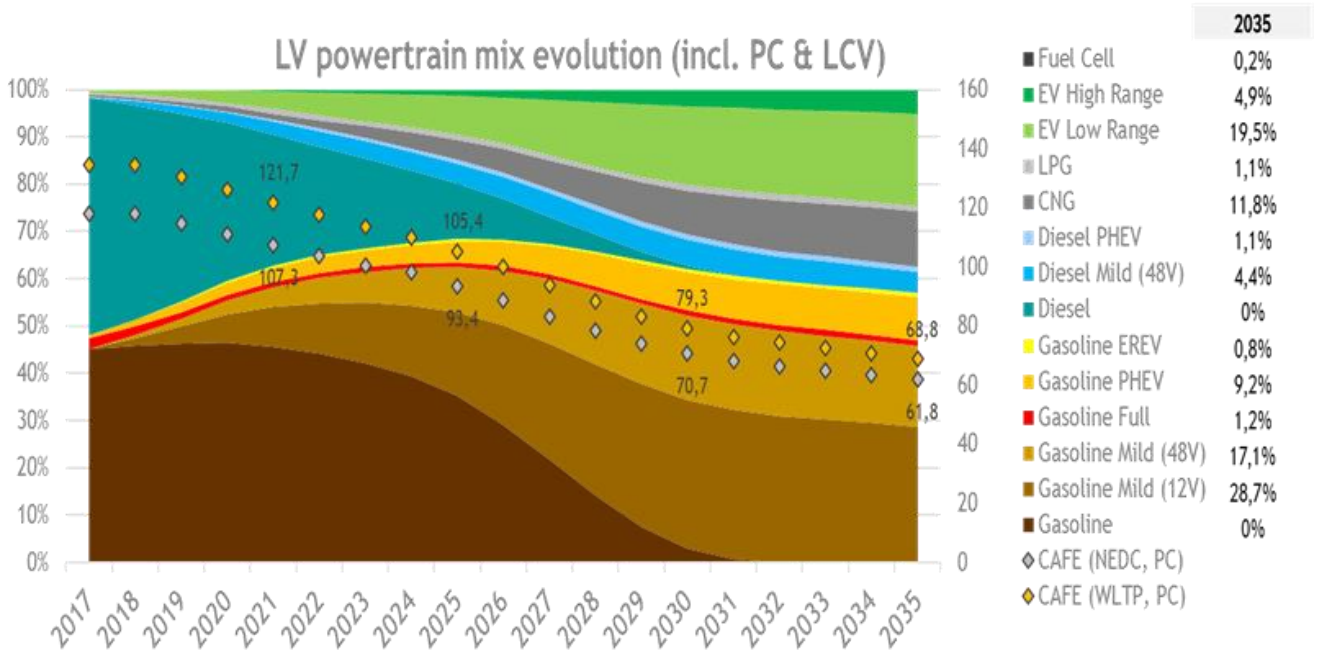
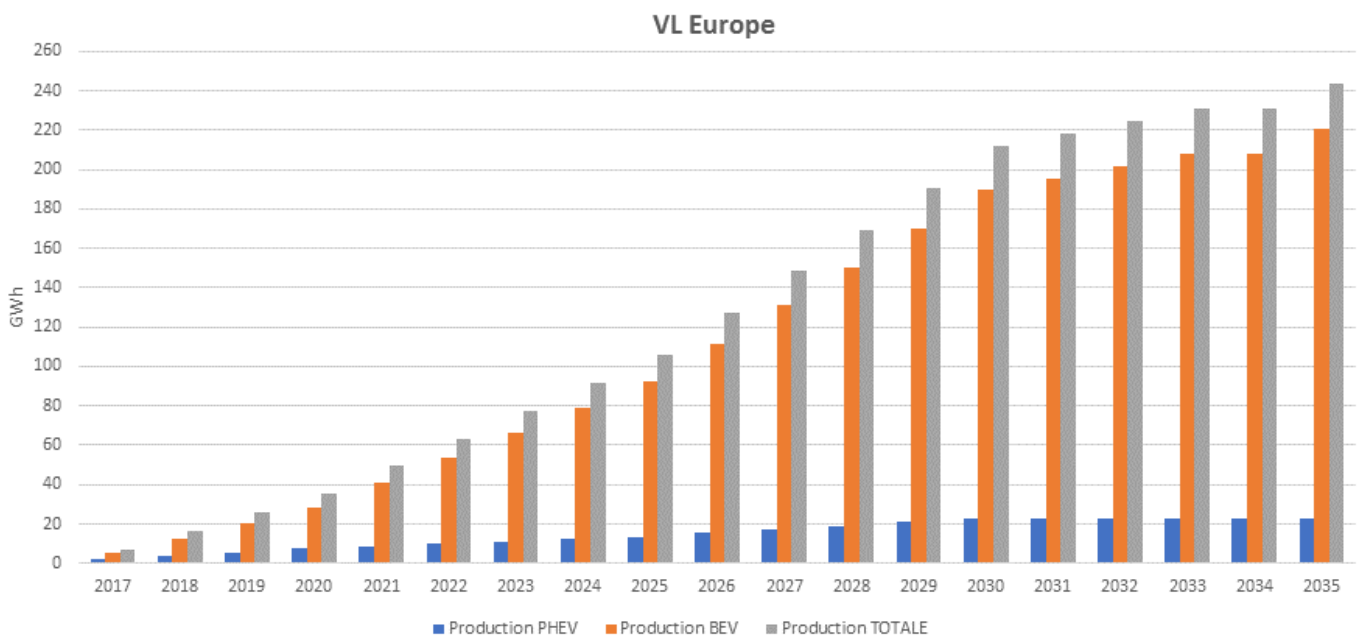


Figure 2 : Perspectives des ventes de véhicules électriques légers, source PFA/BIPE octobre 2018



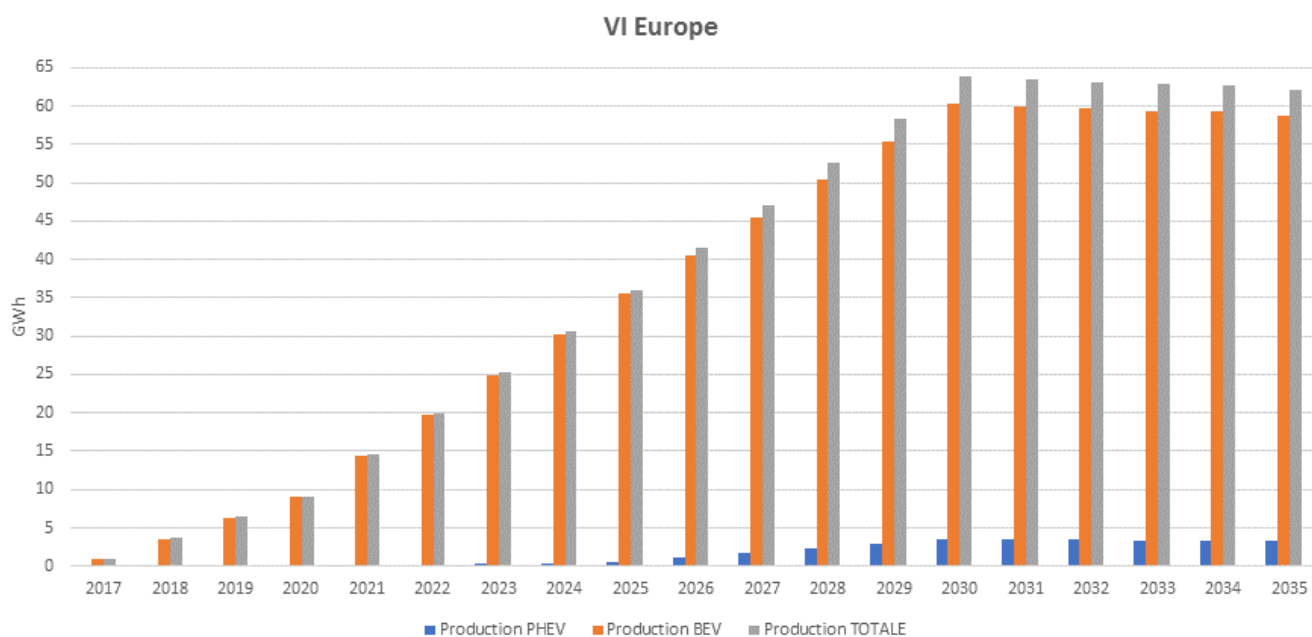


Figure 3 : Pour les besoins batteries exprimés en GWh, prévision des ventes de véhicules (VL an haut, VI en bas), scénario "green constraint", source PFA/BIPE octobre 2018

Concernant plus spécifiquement les engins mobiles non routiers (les équipements pour la construction, les équipements de manutention/levage), l'organisation professionnelle Evolis (Ex CISMA) a réalisé un état des lieux pour les engins de manutention (chariots industriels). Le pourcentage d'engins à motorisation électrique/hybride augmente<sup>6</sup>. Environ **3% des chariots industriels électriques mis sur le marché en 2018 utilisent la technologie lithium**. Il existe ainsi **un réel potentiel de conversion d'environ 62 000 chariots électriques vers la technologie au lithium** dans les prochaines années (

Figure 4). Ce chiffre dépend toutefois de l'évolution de la réglementation et de la possibilité du secteur de financer le surcoût d'investissement.

Actuellement, la réglementation pour les chariots dépend des seuils de charge (règles ICPE basée sur les batteries au plomb, qui ne sont pas applicables aux batteries au lithium). L'absence de réglementation claire pourrait freiner le déploiement des batteries lithium dans ce secteur.

<sup>6</sup> Source Pôle économique Evolis par extrapolation sur les 9rs mois de l'année 2018.



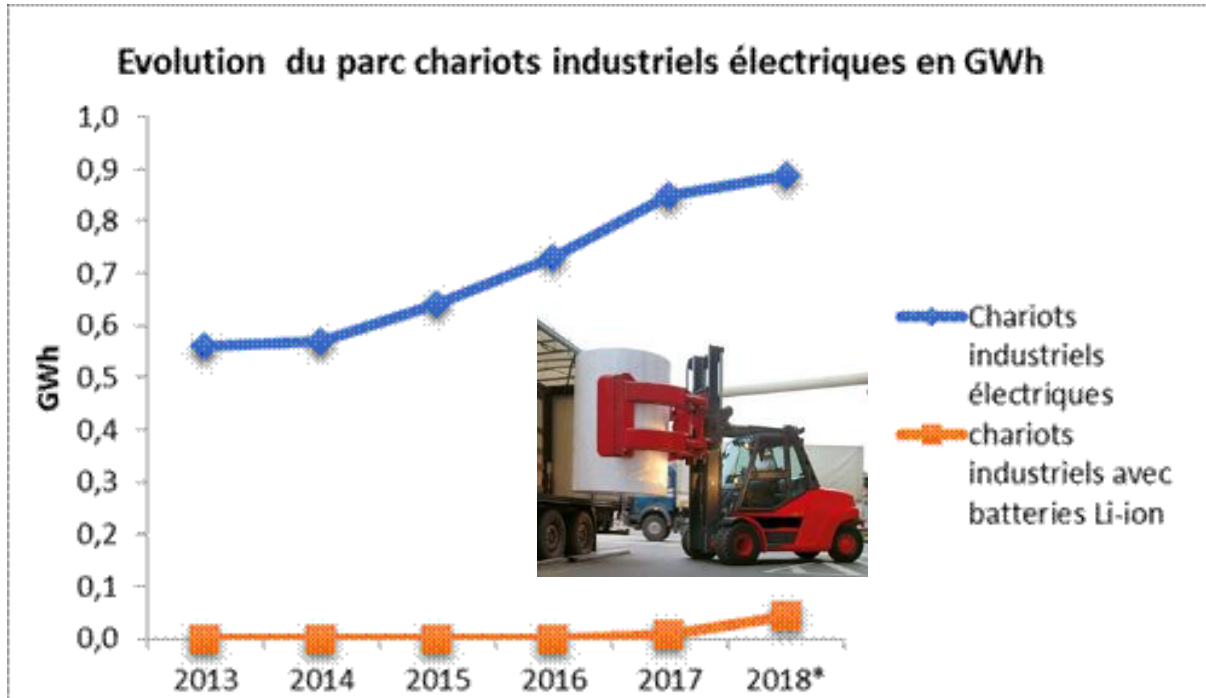


Figure 4: Evolution du parc des chariots industriels

### III.1.2 Technologies de batteries de la mobilité

Une batterie de traction (ou pack batterie) est constituée de modules, d'un calculateur de pilotage, de câblages et des relais / résistances nécessaires à son fonctionnement. Un module est un assemblage de cellules dans un conditionnement unitaire permettant la manipulation et la connexion.

**Les batteries lithium sont composées de très nombreux matériaux. Contrairement à ce que leur nom semblerait indiquer, elles ne contiennent que très peu de lithium, de l'ordre de 1% en moyenne du poids total de la batterie et 2% environ du module.**

#### III.1.2.1 Technologies de batteries utilisées en 2019

A l'heure actuelle, les principaux matériaux d'électrodes dans les batteries lithium sont :

##### **A la cathode:**

- NMC (NCM) – Lithium Nickel Cobalt Manganèse Oxyde (LiNiCoMnO<sub>2</sub>).
- LFP – Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) (majoritairement présent en Chine).
- NCA – Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO<sub>2</sub>).
- LMO – Lithium Manganese Oxyde (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>).

- LNMO – Lithium Nickel Manganese Spinel (LiNi0.5Mn1.5O4).
- LCO – Lithium Cobalt Oxyde (LiCoO2) (utilisé principalement pour les applications d'électronique portative).

A l'anode, le matériau principalement employé est le graphite.

Un pack batterie lithium contient globalement (en poids) :

- 63% de cellules.
- 27% de constituant du module (autour des cellules): 80% Al, 15% Fe et 5% plastique.
- 10% du casing et de l'électronique du pack lui-même (hors cellules/module).

<b>Cellule</b>		<b>NMC111</b>	<b>NMC622</b>	<b>NMC811</b>	<b>NMC532</b>	<b>LMO</b>	<b>NCA</b>	<b>LCO</b>
<b>Cathode</b>	<b>%</b>	<b>36.8%</b>	<b>36.9%</b>	<b>37.0%</b>	<b>36.8%</b>	<b>36.3%</b>	<b>36.8%</b>	<b>37.1%</b>
Li	%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%
Co	%	6.2%	3.7%	1.9%	3.7%	0.0%	2.8%	18.6%
Ni	%	6.2%	11.2%	14.9%	9.3%	0.0%	15.2%	0.0%
Mn	%	5.8%	3.5%	1.7%	5.2%	17.6%	0.0%	0.0%
Al	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%
O2	%	10.2%	10.2%	10.1%	10.2%	10.3%	10.2%	10.1%
Feuille Al Cathode	%	6.1%	6.1%	6.1%	6.1%	6.2%	6.1%	6.1%
Plastifiant	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
<b>Electrolyte (hyp 1M)</b>		<b>18.0%</b>	<b>17.9%</b>	<b>17.9%</b>	<b>18.0%</b>	<b>18.1%</b>	<b>18.0%</b>	<b>17.9%</b>
Li	%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
P	%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
F	%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%
EC/DMC	%	15.4%	15.4%	15.4%	15.4%	15.5%	15.4%	15.3%
<b>Séparateur (PE)</b>	<b>%</b>	<b>8.5%</b>	<b>8.5%</b>	<b>8.5%</b>	<b>8.5%</b>	<b>8.6%</b>	<b>8.5%</b>	<b>8.5%</b>
<b>Anode</b>	<b>%</b>	<b>32.5%</b>	<b>32.4%</b>	<b>32.4%</b>	<b>32.5%</b>	<b>32.7%</b>	<b>32.5%</b>	<b>32.3%</b>
Graphite	%	22.1%	22.0%	22.0%	22.1%	22.2%	22.1%	22.0%
Feuille Cu	%	10.4%	10.4%	10.4%	10.4%	10.5%	10.4%	10.4%
<b>Boitier Alu</b>	<b>%</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.3%</b>
<b>Autres</b>	<b>%</b>	<b>0.9%</b>	<b>0.9%</b>	<b>0.9%</b>	<b>0.9%</b>	<b>1.0%</b>	<b>0.9%</b>	<b>0.9%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Figure 8 : Composition massique d'une cellule pour les différentes chimies de cathode

<b>Module</b>		<b>NMC111</b>	<b>NMC622</b>	<b>NMC811</b>	<b>NMC532</b>	<b>LMO</b>	<b>NCA</b>
Li	%	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%
Co	%	4.4%	2.6%	1.3%	2.6%	0.0%	2.0%
Ni	%	4.4%	7.9%	10.5%	6.6%	0.0%	10.7%
Mn	%	4.1%	2.5%	1.2%	3.7%	12.4%	0.0%
Al (oxyde)	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%
O	%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%
Al (métal)	%	30.2%	30.2%	30.2%	30.2%	30.3%	30.2%
Cu	%	7.3%	7.3%	7.3%	7.3%	7.4%	7.3%
LiPF6	%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%
Fe	%	4.4%	4.4%	4.4%	4.4%	4.4%	4.4%
DMC	%	10.9%	10.9%	10.9%	10.9%	11.0%	10.9%
Graphite	%	15.6%	15.5%	15.5%	15.6%	15.7%	15.6%
Plastique	%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%	7.5%
Autres	%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
<b>TOTAL</b>	<b>%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

Figure 9 : Composition massique d'un module pour différentes chimies de cathode

Avec ces principaux matériaux d'électrodes, les technologies de cellules dans les batteries des véhicules électrifiés sont répertoriées en Figure 10.

Constructeur	Modèle		autonomie full EV, NEDC (km)	Régime	référence cellule	technologie	type de cellule
Toyota	Prius	2009	2	THP	Panasonic 6 Ah	NiMH	rigide
Toyota	Prius plug-in	2012	23	THP	Panasonic 21.5 Ah Al prismatique	Li-ion	rigide
Toyota	Prius plug-in	2016		HP	Panasonic prismatique 25Ah 95S1P	Li-ion	rigide
GM	Volt	2011	50	HP	LG 15Ah 96S3P	Li-ion NMC-LMO	pouch
GM	Volt 2	2016	80	HP	96S2P	Li-ion NMC-LMO	pouch
Audi	A3 etron	2014	50	HP	Panasonic prismatique 25Ah 96S1P	Li-ion NMC	rigide
Volkswagen	golf GTE	2014	50	HP	Panasonic prismatique 25Ah 96S1P	Li-ion NMC	rigide
Mitsubishi	outlander PHEV	2013	50	HP	GS-Yuasa 50Ah (40 utile)	Li-ion	rigide
Mitsubishi	IMiev-m	2012	120	M	Toshiba 20Ah prismatique	Li-ion NMC-LTO	rigide
Ford	focus EV	2012	122	M	LG (idem Zoe?)	Li-ion	pouch
Mitsubishi	IMiev	2010	160	M	GS-Yuasa 50Ah prismatique	Li-ion LMO-amorph c	rigide
Volvo	C30 EV	2013	150	M	Enerdel 17.5Ah	Li-ion hard carbon	pouch
BMW	i3	2013	160	M	SDI 61Ah 96S1P(53Ah utile) prism.	Li-ion NMC/LMO-G	rigide
BMW	i3	2017	300	M	SDI 94Ah 96S1P prism.	Li-ion NMC/LMO-G	rigide
BMW	i3	2019	359	M	SDI 120Ah 96S1P prism.	Li-ion NMC/LMO-G	rigide
Volkswagen	E-golf	2014	190	M	Panasonic 25Ah 88S3P	Li-ion NMC	rigide
Nissan	LEAF	2011	175	M	AESC 32.5Ah	Li-ion LMO/NCA -G	pouch
Nissan	LEAF	2013	200	M	AESC 32.5Ah	Li-ion LMO/NCA-G	pouch
Renault	Zoe	2013	210	M	LG 37.5Ah (33Ah utile)	Li-ion LMO/NMC-G	pouch
Renault	ZOE R240	2016	240	M	LG 37.5Ah (35Ah utile)	Li-ion LMO/NMC-G	pouch
Bollore	Bluecar	2012	250	E	Bollore cellule 80Ah	Li metal LFP	rigide
Renault	ZOE ZE40	2017	400	M	LG ~60 Ah	Li-ion NMC622 - G	pouch
GM	Bolt	2017	530	M	LG~60Ah	Li-ion	pouch
Tesla motors	model S 85D	2012	480	M	Panasonic 18650 3.1 Ah	Li-ion NCA-G	rigide
Audi	R8 e-tron	canc.	450	M	18650 12 Wh	Li-ion	rigide
Tesla motors	Model S 100D	2017	630	M	18650 3,45Ah	li-ion	rigide
Tesla motors	Model 3	2017	580	M	Panasonic 2170 ~5Ah (96S46P)	Li-ion	rigide

Figure 10: Véhicules électrifiés et technologies de batterie lithium employées

(Dernière mise à jour décembre 2018)<sup>7</sup>

Ces chimies de batterie ont été mises sur le marché à des périodes différentes et sont le plus souvent classées par génération (cf. Figure 11 ci-dessous).

<sup>7</sup> Concernant les chariots industriels électriques : La technologie lithium utilisée est (à la cathode) : LFP (Lithium Fer Phosphate) ou NMC (Lithium Nickel Manganèse Cobalt). Le design des batteries dépend du modèle de chariot, mais peut être résumé : une tension nominale comprise entre 24V et 90V, avec des capacités nominales qui varient entre 2kWh et 36kWh.

Cell generation	Cell chemistry
Generation 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Li/O<sub>2</sub> (lithium-air)</li> </ul>
Generation 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>All-solid-state with lithium anode</li> <li>Conversion materials (primarily lithium-sulphur)</li> </ul>
Generation 3b	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cathode: HE-NCM, HVS (high-voltage spinel)</li> <li>Anode: silicon/carbon</li> </ul>
Generation 3a	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cathode: NCM622 to NCM811</li> <li>Anode: carbon (graphite) + silicon component (5-10%)</li> </ul>
Generation 2b	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cathode: NCM523 to NCM622</li> <li>Anode: carbon</li> </ul>
Generation 2a	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cathode: NCM111</li> <li>Anode: 100% carbon</li> </ul>
Generation 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cathode: LFP, NCA</li> <li>Anode: 100% carbon</li> </ul>

> 2025 ? } GEN4 « solid state » : Une génération dont la commercialisation est prévue au plus tard en 2025

~ 2025 } GEN3 : Des générations en bonne voie de commercialisation

~ 2020 } GEN1 et GEN2 : Des générations déjà commercialisées aujourd'hui

Figure 11: Générations de cellules Li-ion et post Li-ion<sup>8</sup>

Les technologies de batteries issues de la mobilité **qui seront à recycler dans la période 2018-2030 sont celles actuellement employées dans les véhicules (génération 2b, 3a)**, pour lesquels on constate que les cellules sont aujourd'hui majoritairement de générations 2 ou 3 (à électrolyte liquide). Les matériaux concernés sont donc les suivants :

- A l'anode du graphite et, à la cathode, un composant lamellaire NMC ou NCA.
- Concernant les matériaux de base, il s'agira principalement de nickel et de cobalt, puis de manganèse, aluminium, cuivre et lithium : un ajustement de la quantité de matériaux nickel et cobalt par cellule est souhaité par les industriels compte-tenu de la fluctuation et des pics éventuels de prix (après être monté à plus de 90 000\$/t, le cobalt est descendu à environ 30 000\$/t en 2019). Mais cette prévision est à pondérer avec la taille et la quantité de cellules pour lesquelles il est prévu des augmentations<sup>9</sup> (une prévision donc difficile à chiffrer aujourd'hui).
- Concernant le cuivre (les électrodes négatives sont réalisées sur des films de cuivre), sa quantité est considérée constante par cellule.

<sup>8</sup> La terminologie des générations de cellules est celle utilisée par l'Europe (Temporary Working Group 7), TWG7 du SET PLAN

<sup>9</sup> Compte-tenu des pressions sur le cobalt (RSE et du marché du cobalt qui devrait être multiplié par 3 en 10 ans), une difficulté d'approvisionnement est à craindre (la demande en extraction du cobalt pourrait poser problème).

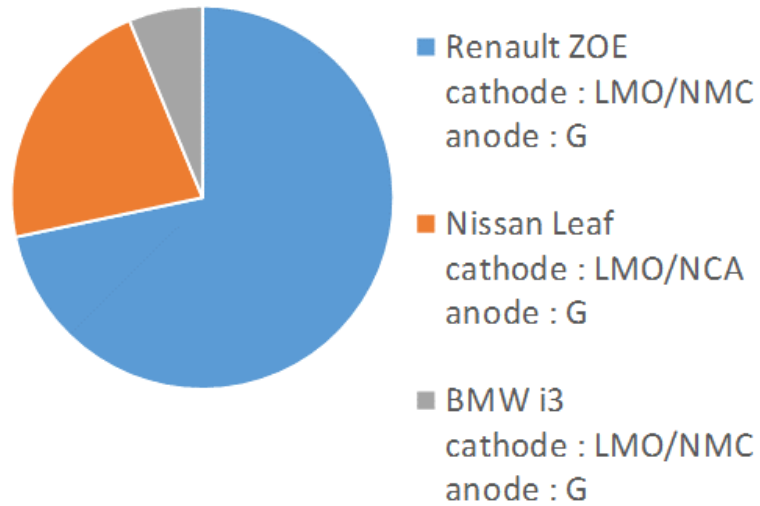


Figure 12 : Technologies de batteries selon le top 3 des ventes de véhicules électrifiés en France en 2018

**BATTERIE LITHIUM-ION**

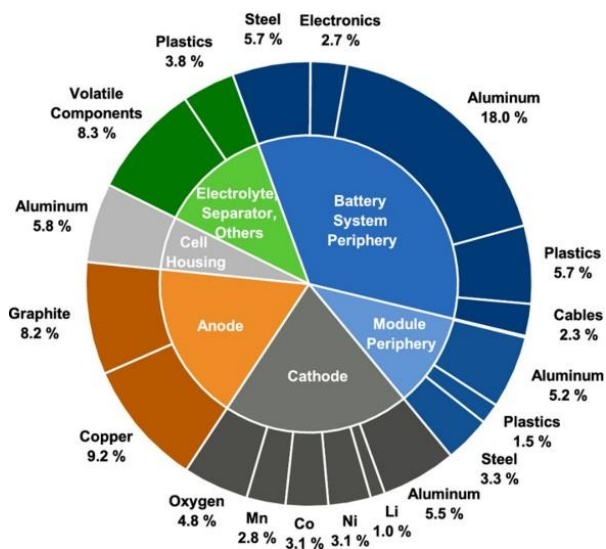


Figure 13 : Jan Diekmann et al. J. Electrochem. Soc. 2017; 164: A6184-A6191 - Composition d'une batterie Li-ion NMC 111 complète

**BATTERIE LITHIUM METAL POLYMERE**

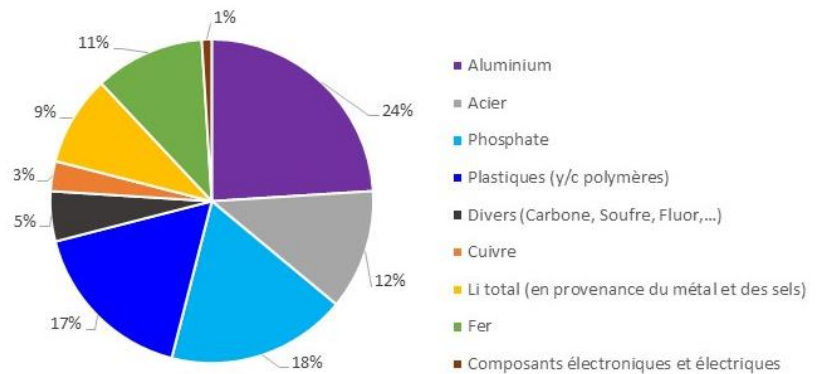


Figure 14 : Part des métaux dans les batteries Lithium Métal Polymère (Source : Blue Solutions)

### III.1.2.2 Les technologies de batteries à venir

Durant la période 2020-2025, des « générations 3 avancées » de cellules (génération 3b) pourront arriver sur le marché du recyclage.

La technologie « tout solide » qui correspond à la génération 4<sup>10</sup> (hypothèse à terme : une électrode négative à base de lithium métal et une électrode positive à base de matériaux lamellaires) est actuellement en cours de développement.

Les perspectives de la génération 4 « tout solide » sont :

- Une maturité commerciale à partir de 2023-2025.
- Une production progressive en masse (pour arriver à un coût compétitif) : la technologie « tout solide » ne va pas subitement remplacer toutes les batteries lithium « liquide » actuelle. Les premiers volumes de batteries « tout solide » seront donc naturellement faibles.
- Compte-tenu de la durée de vie plus longue de ce type de batteries (>15 ans), le recyclage des premiers volumes batteries<sup>11</sup> employant la technologie « tout solide » est attendu à partir de 2040.

**Les modèles d'affaires du recyclage (valeur des métaux, technologies employées le cas échéant) devront tenir compte des changements de chimie des batteries sur des périodes de dix à quinze ans. Ces périodes correspondent à l'échelle de temps habituellement nécessaire pour amortir des investissements industriels. Néanmoins, la variété des chimies de batteries à un instant donné et leur évolution dans le temps pèsent sur la rentabilité des modèles d'affaires du recyclage, notamment sur les processus hydrométallurgiques nécessaires à un recyclage en boucle fermé mais très sensibles à la stabilité en composition des produits traités.** A ce titre, les recycleurs asiatiques bénéficiant déjà de volumes conséquents ont un avantage certain. Ils devraient conserver cet avantage par rapport à des acteurs européens qui vont devoir attendre une massification importante de leurs marchés avant d'atteindre les tailles critiques suffisantes pour assurer leur rentabilité.

---

<sup>10</sup> BLUE SOLUTIONS dispose d'une génération 4 « tout solide » à base de polymères et d'une anode de lithium métal, dont les performances sont à améliorer pour atteindre les spécifications visées en 2030 pour les applications automobiles.

<sup>11</sup> Les batteries BLUE SOLUTIONS permettent un premier retour d'expérience concernant le recyclage d'un type de batterie « tout solide » utilisant une électrode négative en lithium métal : Les technologies de recyclage avec du lithium métal sont différentes. Pour le moment, le recyclage de ce type de batterie reste un marché de niche et les solutions techniques les plus prometteuses sont développées en interne par Blue Solutions.

### **III.2 Roadmap du potentiel de déploiement du nouveau stockage par batteries dans les systèmes électriques français et européen**

Le stockage d'électricité est un élément critique pour l'intégration des énergies renouvelables, par essence intermittentes, qui connaissent une forte croissance au niveau mondial. Les opportunités en France pour le développement de tels stockages sont déjà visibles, dans les territoires d'outre-mer et en métropole, pour faciliter la gestion des réseaux électriques. Elles ont pour la plupart déjà été identifiées par les différents acteurs et sont en cours d'expérimentation en vue d'une ouverture des marchés.

Dans le cadre du GT1, EDF R&D a réalisé une synthèse, partagée avec RTE et l'UFE, de différentes études françaises (Figure 55) pour l'estimation du besoin en flexibilité du réseau<sup>12</sup> en France à l'horizon 2030-2035 dans lequel le stockage aura une place.

Ces études convergent, à l'horizon 2035, sur un besoin français en nouveau stockage par batteries (constante de temps journalières, environ 2h, et hebdomadaire) de quelques gigawatts, ce qui correspond, pour l'ensemble du système électrique européen, à 10 – 15 GW, **soit 30 – 50 GWh. L'intégration de ce potentiel de stockage dans le système électrique est à échelonner sur plusieurs années. Il peut s'agir, à titre d'exemple, de mise en service de 3 à 5 GWh de nouveau stockage par an sur une période de 10 ans.** Les Figure et Figure proposent un résumé de ce potentiel de déploiement du nouveau stockage par batteries dans les systèmes électriques français et européen. Point important à noter : les valeurs estimées n'incluent pas les volumes de stockage domestique ou de V2G<sup>13</sup>.

**Le stockage par batterie se fera donc par opportunité<sup>14</sup> ces prochaines années, et un marché du stockage stationnaire pour les batteries s'installera progressivement. Même à horizon 2030, ce marché est très mineur par rapport à celui de la mobilité.**

---

<sup>12</sup> Le besoin de flexibilité du réseau augmente. Il est induit par l'augmentation de moyens de production non dispatchables et plus variables.

<sup>13</sup> Le V2G ou *Vehicle to Grid* permet au véhicule électrique d'alimenter le réseau pour répondre aux besoins du système électrique.

<sup>14</sup> Le stockage stationnaire se trouve en concurrence avec d'autres leviers de flexibilité, que le système électrique peut utiliser. Il s'agit notamment des batteries de mobilité (concept « *Vehicle to Grid* » où le véhicule alimente le réseau quand il est connecté à une prise de courant), des interconnexions et du pilotage smart de la demande. Le déploiement du nouveau stockage par batteries **entre 2020 et 2030** sera essentiellement tiré par son utilisation en tant que moyen de réglage primaire de fréquence (quelques centaines de MW pour la France au maximum) et par les appels d'offres de la CRE. Il peut donc s'agir de **100 à 300 MW du nouveau stockage par an, avec un rythme croissant.**



Scénario		Rappel Hypothèses				Résultats			
		Horizon temporel	Part des EnR dans le mix (en énergie)	Part du nucléaire dans le mix	Prix du CO2	Espace pour l'ensemble des leviers de flexibilité	Espace pour le stockage	Valeur pour un stockage 2h €/kW/an	
60 % ENR		2030	60% (Eu27)	17% (Eu27)	35 €/t <sub>CO2</sub>	environ 200 GW (Eu27) Ce chiffre intègre les besoins en flexibilité journalière, hebdomadaire, mensuelle et saisonnière.	1-4 GW en France (sans mise en concurrence avec les autres leviers de flexibilité)	100 €	
REI	Scénario de référence : Nouveau Mix du BP RTE 2016	2030	39% dont 25% sont fournis par l'éolien et le PV	49,2% (France)	95,2 €/t <sub>CO2</sub>	9 GW (France)	3 GW dont 1,3 GV pour le stockage par batteries (constante de temps d'environ 2h)	90 €	
PEPS-4	Scénarios de référence (BP RTE 2017)	Ampère (2035)	2035	50	46%	108 €/t <sub>CO2</sub>	5-25 GW (France)	8.5 GW dont 6 GW pour un stockage de type électrochimique (constante de temps de 2h) (sans mise en concurrence avec les autres leviers de flexibilité)	66 €
		Hertz (2035)		45	47%	32 €/t <sub>CO2</sub>			71 €
		Watt (2035)		71	11%	108 €/t <sub>CO2</sub>			71 €
		Volt (2035)		40	56%	32 €/t <sub>CO2</sub>			58 €

Figure 55: Estimation du potentiel de pénétration du stockage en France à l'horizon 2030-2035, selon 3 études : 60% EnR, REI et PEPS-4 (synthèse réalisée par A. Nekrasov de EDF R&D, partagée avec Claire Lajoie-Mazenc de RTE et Mathias Laffont de l'UFE)

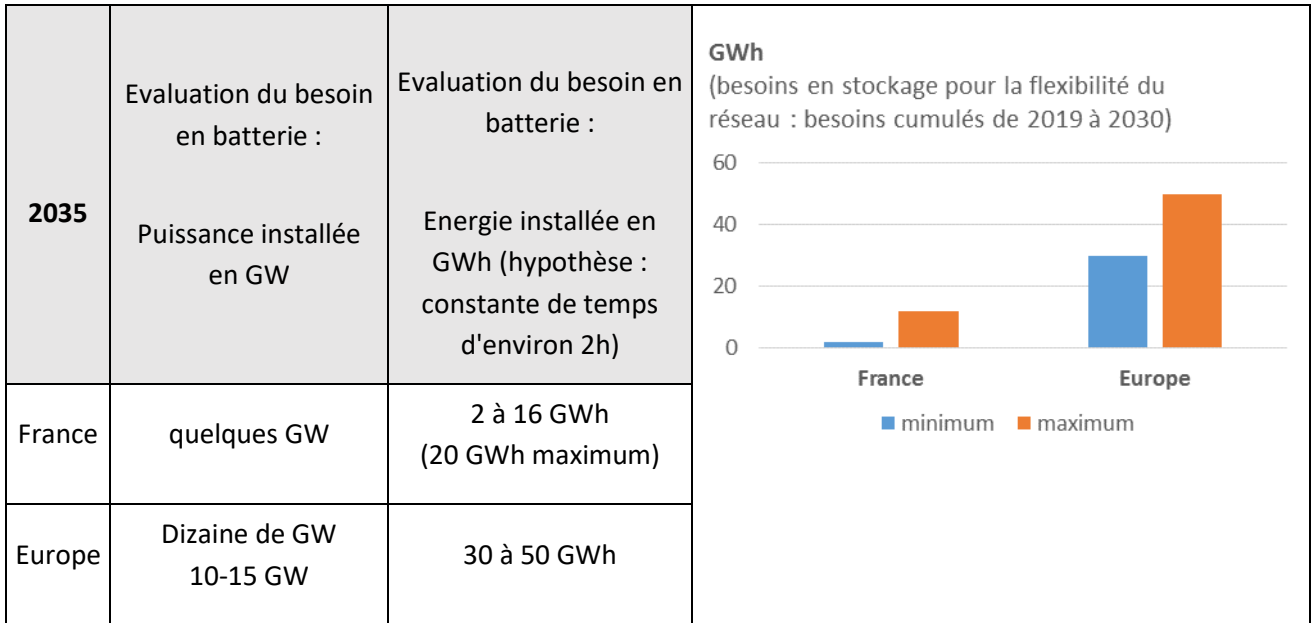


Figure 16: Estimation du potentiel de pénétration du stockage (besoins cumulés de 2019 à 2035, en France et en Europe). Le renouvellement des batteries en fin de vie n'a pas été comptabilisé.

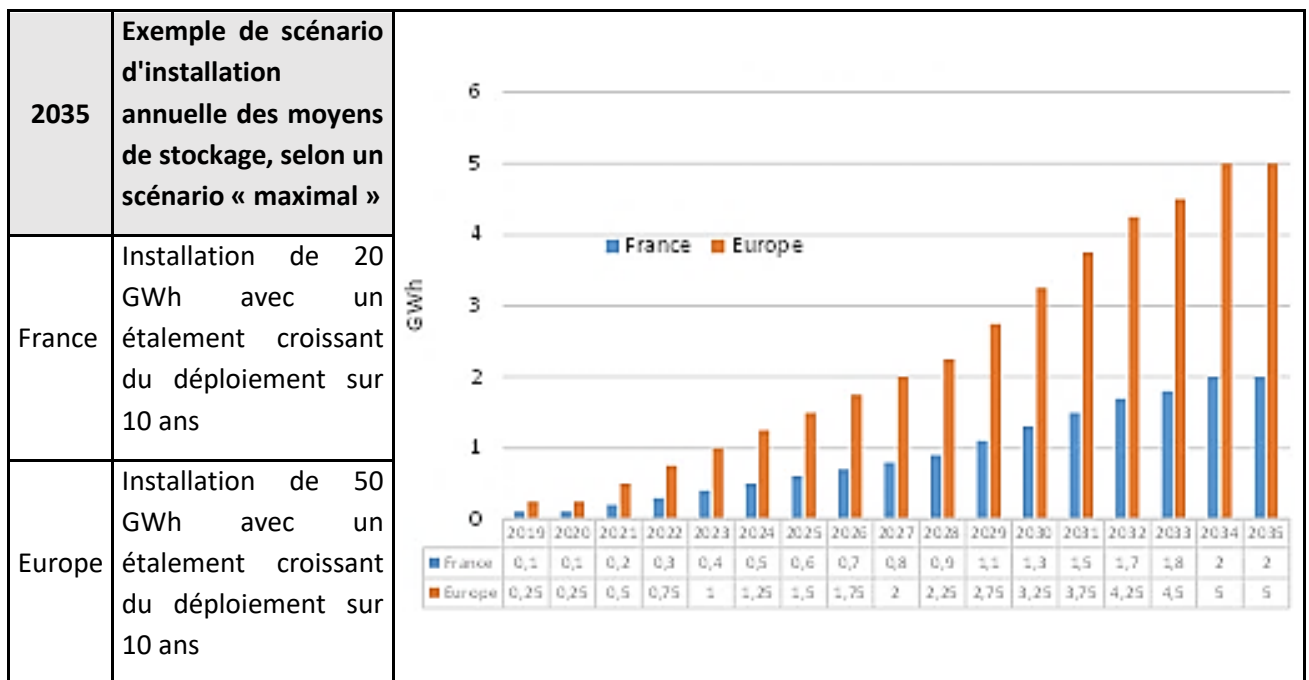


Figure 17 : Estimation des besoins en stockage pour la flexibilité du réseau. Les besoins sont répartis progressivement et annuellement de 2019 à 2030, en France et en Europe, **selon un scénario de besoin « maximal »**.

Le renouvellement des batteries en fin de vie n'a pas été comptabilisé.

### III.3 Roadmap fin de vie des batteries

#### III.3.1 Hypothèses retenues pour la fin de vie des batteries

##### Les batteries issues de la mobilité :

Afin d'évaluer les volumes de batteries issues de la mobilité qui arriveront sur le marché du recyclage ou intermédiairement sur celui de la « seconde vie », les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Application d'une **durée de vie** et d'un **taux de vieillissement** pour les 2 grands types de batteries (génération 3) pour véhicules<sup>15</sup> :
  - BEV : durée = 10 ou 15 ans, taux de capacité résiduelle = 80%<sup>16</sup>
  - Pour évaluer les tonnes de batteries BEV à recycler, le modèle du pack de la ZOE a été considéré (41 kWh pour 300 kg).
  - PHEV : durée = 15 ans, taux de capacité résiduelle = 70%
  - Pour évaluer les tonnes de batteries PHEV à recycler, le modèle du pack de la GOLF GTE : 8.7kWh pour 117 kg
  - NB : les modèles de véhicules ci-dessus ont été sélectionnés car ils font partie des plus vendus à ce jour.
- Pourcentage de batteries « mises » sur le marché suite à un **sinistre** (accident notamment) = 1% du marché annuel de véhicules sur l'année A+1.
- Application d'un **taux de « fuite»**<sup>17</sup> (sortie nette de la zone régionale concernée)
  - Pour l'Europe : 0% pour les BEV<sup>18</sup> et 25% pour les PHEV.

##### Les batteries issues du stockage stationnaire :

Concernant les batteries issues du stockage stationnaire, les batteries lithium (1<sup>ère</sup> vie) stationnaires actuellement sur le réseau sont en très faible quantité (quelques MWh). Leur durée de vie dépend de leur

---

<sup>15</sup> A titre comparatif, pour les chariots industriels électrifiés : selon les utilisations, la durée de vie de la batterie est comprise entre 2500 cycles et 4000 cycles, soit respectivement 7 et 10. La batterie perd 2,5% à 4% de sa capacité/année d'utilisation, donc la capacité résiduelle de la batterie peut être estimée à 50%- 60% en fin de vie.

<sup>16</sup> Les durées de vie des batteries en véhicules électrifiés sont en augmentation. Les OEMS garantissent par ailleurs de plus en plus des batteries à 70% de capacité minimale sur la durée de la garantie (par exemple sur les 8 premières années ou 100 000 km chez BMW).

<sup>17</sup> Si les batteries des véhicules ont une valeur positive, une filière illégale pourrait se développer, jusqu'à maximum 50% par exemple des volumes comme c'est le cas pour les véhicules thermiques (estimation prise dans le présent rapport : taux de fuite négligeable pour les BEV et 25% pour les PHEV). Si elles n'ont pas de valeur positive, elles resteront en France.

<sup>18</sup> Même si certains véhicules ont été reportés ayant été exportés en 2019.

technologie, de leur profil d'utilisation, et non du réseau. Une première estimation peut conduire à une **durée de vie** de l'ordre de 10-15 ans (avec un **renouvellement** de 3 GWh/an des batteries qui est à prévoir).

Les flux annuels arrivant au recyclage à terme sont de quelques centaines de MWh, mais probablement pas avant 2035-2040.

### III.3.2 Volumes de batteries arrivant en fin de vie en Europe

#### III.3.2.1 Tonnes de batteries potentiellement à recycler en Europe

Pour définir les ordres de grandeurs des volumes de batteries lithium à recycler ces prochaines années, le groupe de travail s'est focalisé sur les volumes de batteries les plus importants **en Europe**, c'est-à-dire ceux issus des **VL** (VL = BEV + PHEV), montrés (Figure) :

- Avant 2027, le flux annuel des batteries à recycler en Europe est inférieur à 9 000 tonnes/an ou 6 000 tonnes/an selon la durée de vie des batteries, respectivement 10 ans ou 15 ans.
- Dès 2027, le flux annuel des batteries à recycler en Europe dépasse largement 20 000 tonnes/an.

**La croissance des besoins en recyclage de batteries lithium devrait être rapide.**

**Un marché du recyclage des batteries émerge à partir de 2027 : 50 000 tonnes/an de batteries à recycler (en forte augmentation par la suite), soit 25 000 à 30 000 tonnes de cellules.**

**Les capacités européennes de traitement sont estimées entre 15 000 et 20 000 tonnes/an (de batteries) aujourd'hui : les acteurs européens, dont les recycleurs français, devront multiplier par trois leurs capacités de traitement à cette date.**

**En outre, les autres éléments de la batterie, l'électronique par exemple, pourront aussi alimenter des filières de valorisation.**

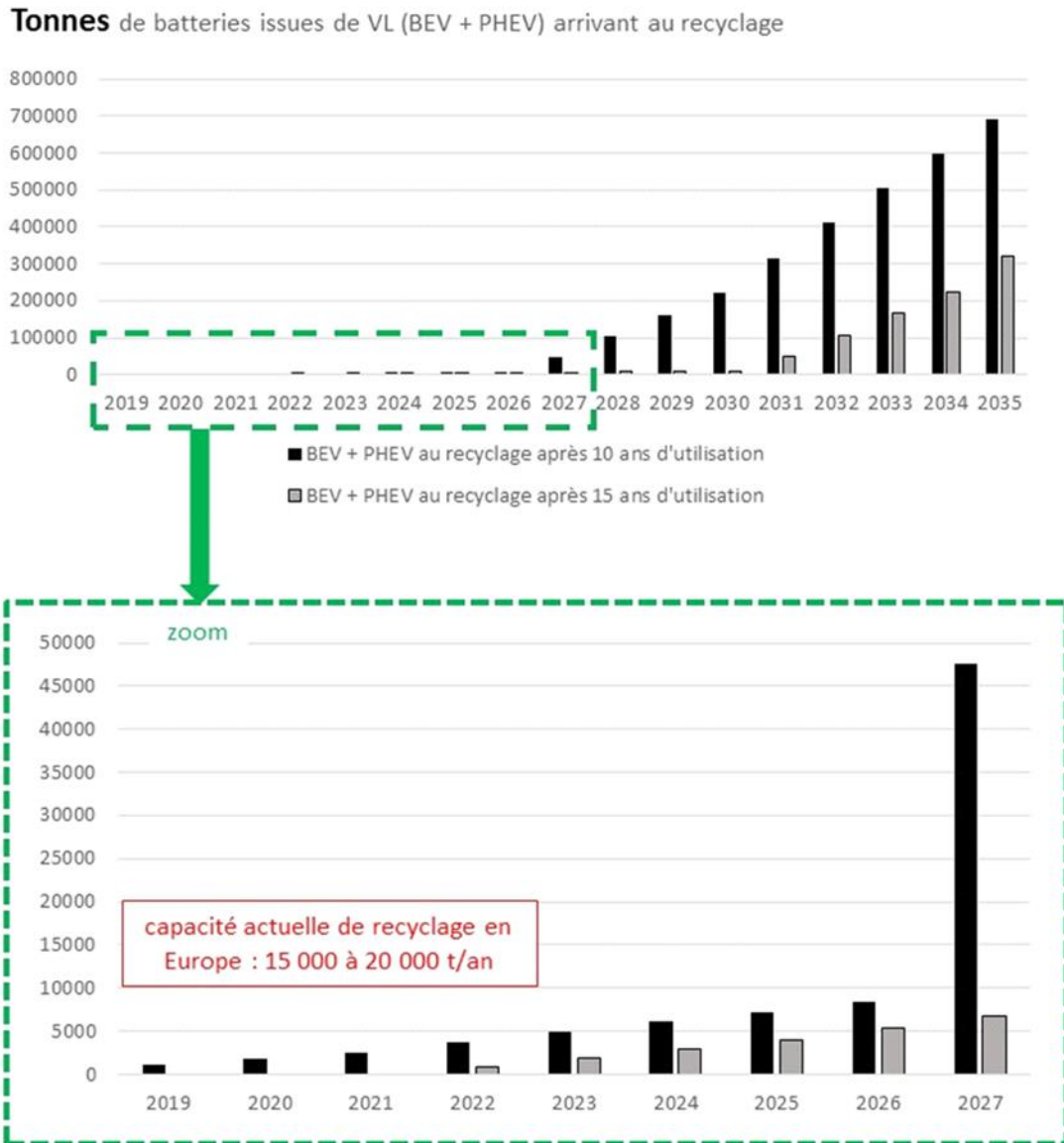


Figure 18 : Prévisions des flux annuels de batteries<sup>19</sup> en Europe issus des VL, qui arriveront en fin de vie au cours des prochaines années

### III.4 GWh de batteries potentiellement disponibles pour une « seconde vie » en Europe

La Figure 19 donne les GWh restant dans les batteries des VL qui arrivent au recyclage en Europe :

ces batteries peuvent potentiellement être utilisées pour alimenter des systèmes moins gourmands en énergie, ce qui leur permettra de bénéficier d'une seconde vie avant le recyclage ultime.

L'énergie disponible dans ces batteries pourra en effet être utilisée dans des applications nécessitant moins d'autonomie qu'un VL (alimentation secondaire dans des bateaux, dans de petits engins agricoles, dans de

<sup>19</sup> Hypothèses pour évaluer le poids des packs batteries : PHEV (le pack de la golf GTE : 8.7kWh pour 117 kg) et BEV (le pack de la ZOE : 41 kWh pour 300 kg)

petits véhicules urbains...). Il est le plus souvent envisagé que ces batteries pourront servir au stockage stationnaire.

Pour évaluer l'aptitude de ces batteries à satisfaire les besoins du marché du stockage stationnaire, la Figure 20 est proposée. Elle montre que dès 2027 ou 2032 (respectivement dans le cas de scénarios de batteries à 10 ou 15 ans de durée de vie en VL), le flux des batteries 2<sup>nd</sup> vie est supérieur au besoin en stockage stationnaire.

**Il existe un potentiel de seconde vie des batteries, au moins à court terme (7 à 8 ans), qui est dépendant des équilibres technico-économiques du recyclage, des besoins nouveaux de stockage d'énergie, de la concurrence des batteries neuves ou encore du développement du V2G. Des acteurs industriels français sont déjà positionnés sur ce segment.**

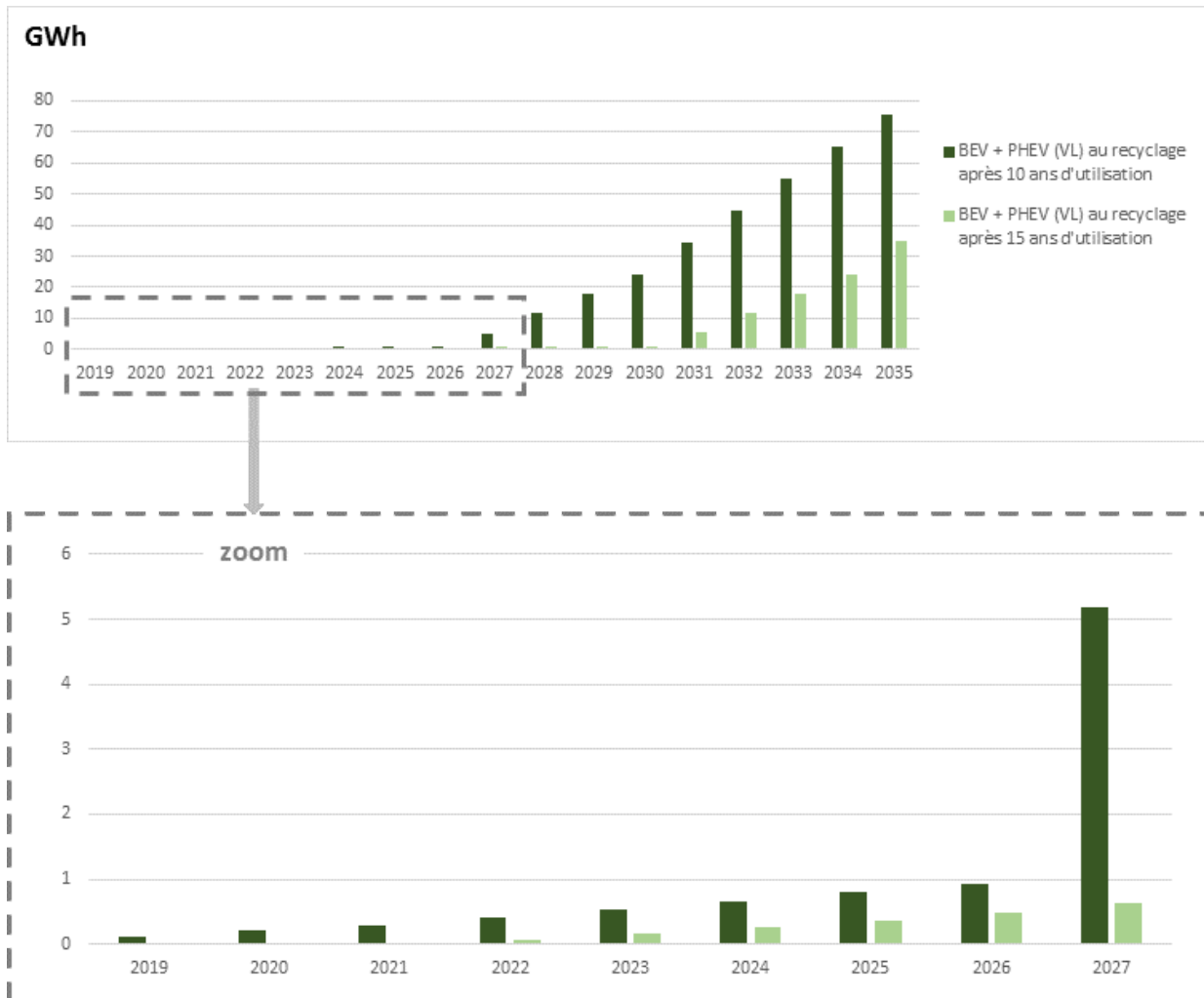


Figure 19 : Prévisions des flux annuels de GWh, restant dans les batteries des VL en Europe, qui arriveront en fin de vie au cours des prochaines années

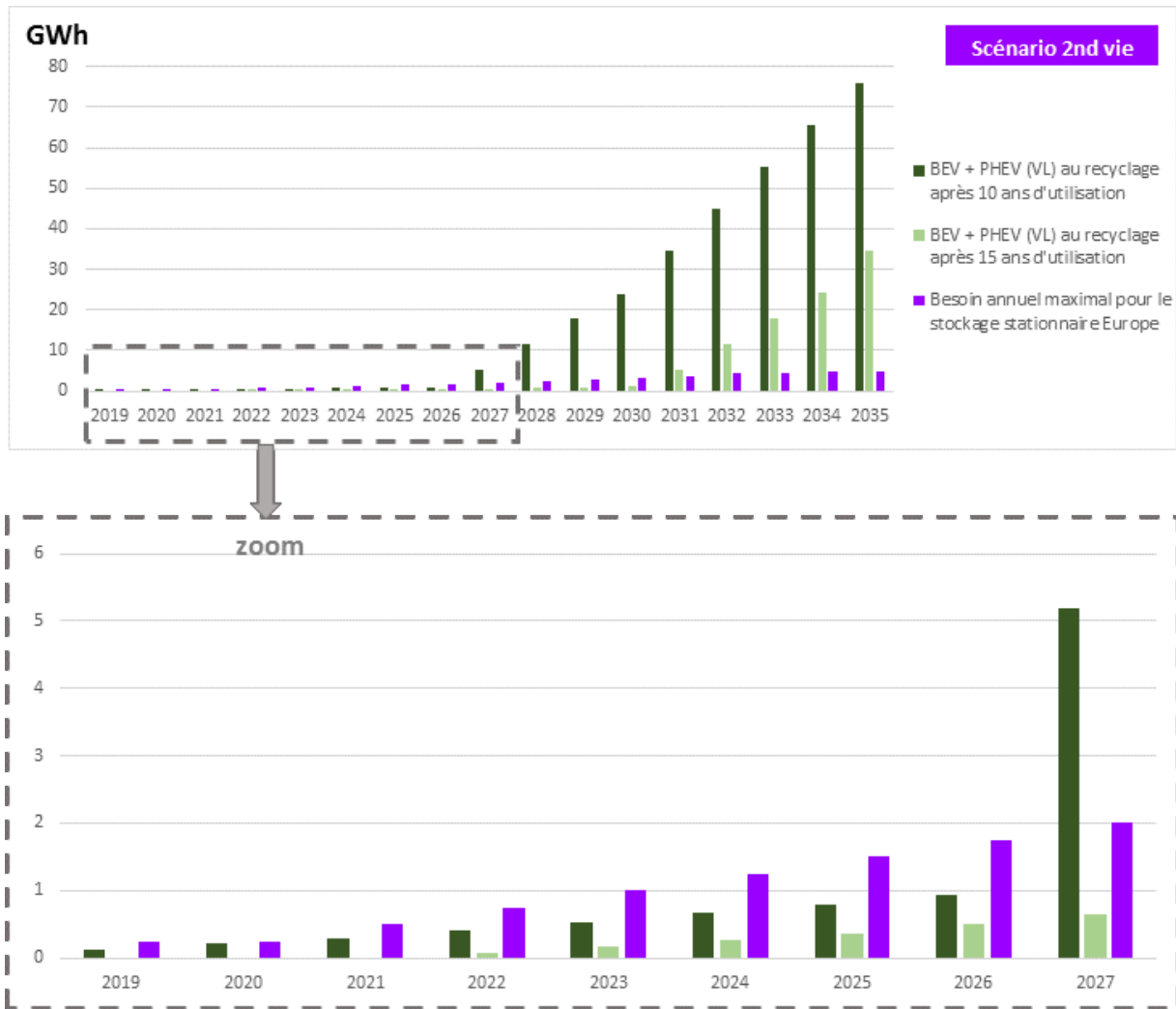


Figure 20 : Prévisions des flux annuels de GWh, restant dans les batteries des VL en Europe, qui arriveront en fin de vie au cours des prochaines années et comparaison de ces flux annuels disponibles, au besoin maximal en GWh pour le stockage stationnaire.

Le besoin de flexibilité du réseau augmente avec l'accroissement de la part des énergies renouvelables, par nature intermittentes, dans la production d'électricité. Le stockage électrochimique d'énergie constitue potentiellement l'une des solutions aux côtés d'autres leviers de flexibilité, comme les interconnexions et le pilotage intelligent de la demande. De même, afin d'accompagner le développement de l'électricité d'origine renouvelable (20% du photovoltaïque aujourd'hui développé en France) à des fins d'autoconsommation, des batteries lithium sont souvent associées aux installations. **Les volumes considérés ici, de l'ordre de quelques GWh maximum pour la France à horizon 2030, sont cependant limités, comparés aux besoins de la mobilité (275 GWh installés en Europe d'ici 2030) et de recyclage en résultant** (cf. figure 8). En complément de ces systèmes de grosses puissances et capacités, il est important de noter que plusieurs acteurs français et européens développent et commercialisent pour des clients particuliers et des petites entreprises des systèmes stationnaires ou mobiles *off grid*, à base de batteries ou de modules de 2<sup>de</sup> vie. Ils proposent ainsi des solutions alternatives compétitives à l'importation d'Asie de batteries neuves.

### **III.5 Points saillants à retenir**

**Entre 2018 et 2030, en Europe, le besoin en batterie pour les véhicules électrifiés (majoritairement les VL « tout électrique ») sera multiplié par 10 en 12 ans, pour atteindre environ 210 GWh en 2030 (scénario « green constraint » qui donne un chiffre nominal et non maximal), 275 GWh en prenant en compte les Véhicules Industriels (camions et bus).**

#### **Compte-tenu de la durée de vie d'un VL (10 ou 15 ans) :**

- Un énorme marché du recyclage des batteries devrait émerger à partir de 2027, estimé à 50 000 tonnes/an, dont 25 000 à 30 000 tonnes de cellules, alors que la capacité totale des sites de recyclage en Europe n'excède pas 15 000 tonnes/an.
- Le flux de batteries disponible pour une seconde vie va pouvoir approvisionner un marché important : à partir de 2027-2031, le flux de batterie seconde vie dépasse 5 GWh. Il pourrait ainsi non seulement complètement combler les besoins en batterie pour le stockage stationnaire, mais aussi s'attaquer à d'autres marchés en simultanément, avant d'être recyclées.

*Point prospectif : Le recyclage des premiers volumes batteries employant la technologie « tout solide » est attendu à partir de 2040 (et l'échelle de temps nécessaire pour les recycleurs pour envisager les changements de chimie des batteries est de l'ordre de 10-15 ans).*



## IV. Etat des lieux et recommandations pour un marché « seconde vie » des batteries

### IV.1 Etat des lieux

Les premières publications<sup>20</sup> sur le sujet « seconde vie des batteries » datent déjà de 15-20 ans (1998 avec des batteries de type NiMH, puis 2003 avec des batteries Li-ion). Plusieurs états de l'art sur le sujet sont parus ces dernières années<sup>21, 22, 23, 24</sup> [1,2,3,4]. Le contenu de ces publications peut être résumé selon différents volets (économique, technique ou encore environnemental) :

- Volet économique

Les publications les plus nombreuses sont réalisées aux USA. Il sera retenu qu'elles comprennent de nombreuses incertitudes liées aux structures de coût des batteries seconde vie, aux performances et aux vieillissements, aux dispositifs incitatifs qui peuvent être mis en place, ou encore aux valorisations pour les différentes applications. Il pourra être noté que ces incertitudes ne sont toujours pas levées à ce jour parce que la technologie lithium regroupe une grande diversité de solutions techniques qui évoluent à grande vitesse.

- Volet technique

Les performances instantanées : les batteries de « seconde vie » sont globalement capables de répondre techniquement aux mêmes applications que les batteries « neuves », moyennant un bon dimensionnement et une gestion adaptée (système de gestion électrique, Battery Management System...).

Leurs longévités : peu de publications traitent du vieillissement électrique ou calendaire des batteries « seconde vie ». Des résultats hétérogènes sont présentés. Des études avancées et spécifiques par référence sont en cours, en particulier par le CEA-Liten pour Renault, car les facteurs influençant le vieillissement des batteries « seconde vie » sont nombreux :

- la chimie et le design des cellules, mais aussi celui des modules et packs.
- les conditions de vieillissement en première vie.
- le seuil déclencheur pour la fin de première vie.
- les applications visées en seconde vie.

---

<sup>20</sup> Argonne & Sandia National Labs

<sup>21</sup> Rapport pour le compte de l'ADEME (07/2011) « Étude de la seconde vie des batteries de véhicules électriques et hybrides rechargeables », <https://www.ademe.fr/etude-seconde-vie-batteries-vehicules-electriques-hybrides-rechargeables>  
<https://www.idtechex.com/research/reports/second-life-electric-vehicle-batteries-2019-2029-000626.asp> »

<sup>22</sup>Rapport pour le compte de la Fédération allemande des énergies renouvelables (04/2016) « Second Life-Batteries As Flexible Storage For Renewables Energies », [https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604\\_Second\\_Life-Batterien\\_als\\_flexible\\_Speicher.pdf](https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604_Second_Life-Batterien_als_flexible_Speicher.pdf)

<sup>23</sup>E. Martinez-Laserna et al. (06/2018) Renewable and Sustainable Energy Review 93 (2018) 701-718, « Battery second life: Hype, hope or reality? A critical review of the state of the art »

<sup>24</sup>Rapport IDTechEx (08/2018) Second-life Electric Vehicle Batteries 2019-2029, «<https://www.idtechex.com/research/reports/second-life-electric-vehicle-batteries-2019-2029-000626.asp> »

L'aspect sécurité n'est quasiment pas abordé dans les publications mais il est important de noter qu'aucun incident n'a été reporté sur les premières applications seconde vie mises en œuvre.

- Volet impact environnemental

Les études convergent toutes vers un impact environnemental positif à la fois pour le recyclage et la seconde vie par rapport au recyclage immédiat de la batterie en fin de première vie :

- Différentes analyses ACV (analyse du cycle de vie) ont été menées en vue de quantifier les gains des batteries de seconde vie par rapport à la fabrication d'une nouvelle batterie pour remplir un besoin stationnaire (effet positif).
- Bien que certaines hypothèses soient parfois discutables (comme la non prise en compte de l'impact de la collecte, celui de la re-fabrication ou encore celui du transport des batteries de seconde vie), les études convergent sur des effets positifs sur l'environnement en termes de réduction des gaz à effet de serre (CO2), consommation d'eau, acidification des sols, déclin des ressources fossiles<sup>25</sup>.

#### IV.2 Positionnement des industriels sur l'étape de la seconde vie des batteries

Le secteur d'activité de la « seconde vie » crée une nouvelle étape dans la chaîne de la valeur des batteries (Figure ). Elle est donc intermédiaire, juste avant le recyclage qui s'en trouve repoussé de plusieurs années.

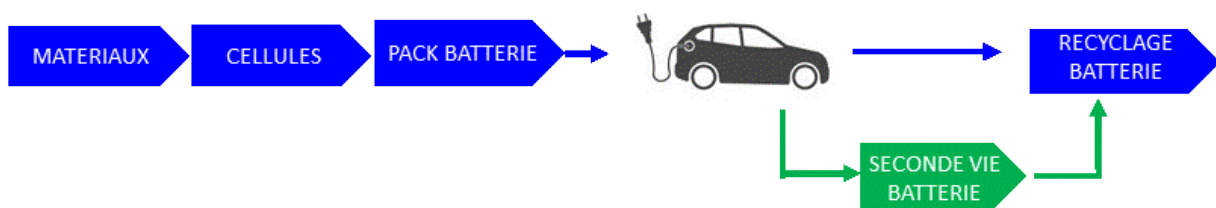


Figure 21 : Chaîne de la valeur des batteries dans laquelle une nouvelle étape est désormais intégrée avec le développement de l'activité « seconde vie »

Un premier bilan des projets de démonstrateurs « seconde vie » (Figure 21) montre l'implication forte des constructeurs automobiles sur le sujet :

<sup>25</sup> Voir notamment le rapport : « [Sustainability Assessment of Second Life Application of Automotive Batteries](#) », JRC Technical Reports, 2018

- **Renault** communique sur la seconde vie depuis plusieurs années :
  - Des partenariats et démonstrateurs déjà mis en place.
  - Des premières applications commerciales déjà disponibles fin 2018 avec les partenaires Powervault, Bouygues Energies et Services, Connected Energy, ECP ...
  - De nombreux nouveaux projets et partenariats en cours d'étude pour des applications stationnaires et mobiles.
- **Le recycleur SNAM** est le seul industriel à proposer une usine de mise en œuvre de batteries « seconde vie » en Europe<sup>26</sup>, à travers le projet Phenix.

Le spécialiste du recyclage des batteries construit, à **Viviez, dans l'Aveyron**, une usine de batteries remanufacturées, issues à 80 % de composants recyclés. Elle correspond à l'aboutissement d'un programme de R&D de plusieurs années avec le CEA et s'amorce selon le plan ci-après :

- 2018 : un premier atelier pilote de 200 m<sup>2</sup> opérationnel, sur le site actuel de SNAM, à Viviez (Aveyron).
- 2020: un second atelier de 1 600 m<sup>2</sup> devrait être mis en service.
- D'ici 2022 : deux tranches de 11 500 m<sup>2</sup> et 16 800 m<sup>2</sup> sont programmées.

Une usine avec un potentiel de 10 à 20 MWh de batteries remanufacturées est visée en 2020 (250 MWh par an après quatre années de production) avec 645 emplois à la clé.

**Devant le développement de l'activité « seconde vie » des batteries, les fabricants de cellules SAFT et BLUE SOLUTIONS sont neutres. Les sociétés estiment le modèle technico-économique encore difficile à établir et la demande réelle difficile à estimer s'agissant de marchés de niche en cours d'établissement.** Ils notent aussi que, dans la plupart des projets, les batteries expérimentées n'ont certainement pas vieilli 10 ans en véhicules électrifiés.

Par ailleurs, dans le cas d'une forte croissance de l'activité « seconde vie » :

- **Un cadre règlementaire est désormais nécessaire** vis-à-vis de la responsabilité du deuxième metteur sur le marché.
- **Il sera nécessaire d'avoir un opérateur en fin de première vie des batteries pour les évaluer**, et cet opérateur sera préférentiellement un spécialiste de la batterie : un nouveau maillon dans cette chaîne de valeur de la batterie à développer.
- **Une garantie de la batterie « seconde vie » devra être établie.**

---

<sup>26</sup> A noter que (pour revaloriser le site de Fukushima), au Japon, l'industriel Nissan inaugure en mars 2018 une première plateforme « seconde vie » des batteries issues de son véhicule électrique Leaf : <https://www.usinenouvelle.com/article/nissan-invente-l-avenir-des-batteries-electriques-pres-de-fukushima.N674069>

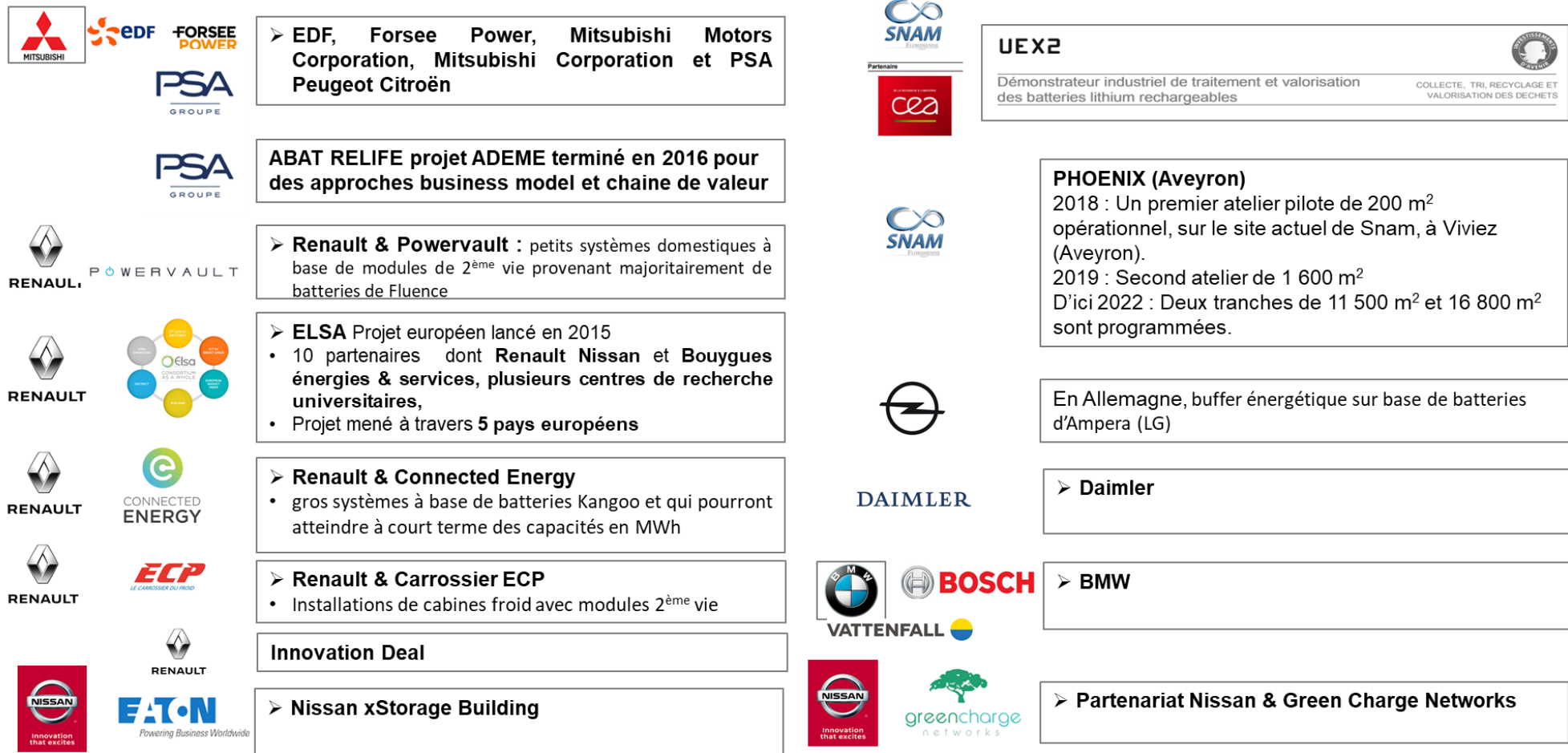


Figure 22 : Projets et démonstrateurs en cours adressant la « seconde vie » des batteries

### IV.3 Recommandations pour l'émergence d'une offre française sur la seconde vie

#### IV.3.1 SWOT « seconde vie » des batteries

La Figure 236 propose un SWOT<sup>27</sup> « seconde vie » des batteries de 2020 à 2030.



Figure 236: SWOT « seconde vie » des batterie

<sup>27</sup> SWOT : Strengths Weaknesses Opportunities Threats, (respectivement forces, faiblesses, opportunités et risques)

Les générations de batteries arrivant sur le marché de la « seconde vie » dans la période 2018-2030, sont celles actuellement dans les véhicules électrifiés, c'est-à-dire la génération 2 voire 3 (les technologies dites à électrolyte liquide, dont l'énergie va être accrue). Les technologies de génération 4 (dites solides) devraient commencer à arriver sur le marché « seconde vie » à horizon 2035-2040.

#### IV.3.2 Conditions de réussite de la seconde vie des batteries

- La capacité du producteur de batteries à accéder à un **volume de batteries homogènes suffisant** sur un marché donné, pour permettre une offre de seconde vie conséquente et ainsi intéresser les clients, reste une condition essentielle à l'émergence de ce marché.
- **L'attrait économique des batteries seconde vie ne dépend pas uniquement de l'offre économique des batteries neuves, mais aussi du coût de recyclage.** En effet, si le coût du recyclage est supérieur au coût net pour donner à une batterie une deuxième vie, les producteurs vont promouvoir la seconde vie.
- **Les batteries neuves ne devront pas avoir un coût inférieur aux batteries « seconde vie », ce qui reste incertain à ce stade.**

#### IV.3.3 Bilan et recommandations préliminaires

Sur la base du SWOT, **des points positifs pour l'émergence d'une offre française de « seconde vie » des batteries** sont d'ores et déjà mis en relief par le groupe de travail :

- Une **optimisation de l'impact environnemental** : recyclage, fabrication et usage prolongé.
- Une visibilité parfaite de la **disponibilité** des batteries « seconde vie » sur le sol européen et en particulier en France (une forme de sécurisation des approvisionnements).
- La réglementation « seconde vie » commence à évoluer sur le sujet du transfert de responsabilité lors d'une deuxième vie batterie hors automobile, puisque la Belgique a fait évoluer sa réglementation locale pour transférer la responsabilité vers le « nouveau producteur ».
- Une nouvelle chaîne de valeur **complémentaire à celle existante** et qui est **interne à l'Europe** (emplois, montée en compétences, positionnement d'acteurs existants et de nouveaux acteurs dans le tissu industriel de la batterie).
- L'offre marché « seconde vie » peut couvrir le spectre complet du domestique à l'industriel avec des capacités de stockage allant de quelques centaines de Wh à des MWh.

- L'avance des OEMs français (parc roulant Renault Z.E.) et de la filière collecte des véhicules hors d'usage (vhu) / déconstruction / grading / intégration.

Il apparaît nécessaire de faciliter les conditions de mises sur le marché des batteries de « seconde vie », notamment avec les considérations suivantes :

- **Un statut de « seconde vie à la batterie » et non pas de « déchet » dès la dépose du véhicule.**
- **Le transfert de responsabilité vers le nouveau producteur lors de la reconstruction d'un pack batterie pour l'usage en « seconde vie ».**

**Dans ce contexte le positionnement d'un marché « seconde vie » des batteries serait favorable au moins à court terme (7-8 ans, ensuite tout dépendra du business model du recyclage).**

## V. ETAT DES LIEUX ET RECOMMANDATIONS POUR UN MARCHÉ DU RECYCLAGE DES BATTERIES ISSUES DE LA MOBILITE

Le groupe de travail 3 (GT3) est dirigé par Denis Foy, avec des inputs des GT4, GT5, GT6, GT7, GT8, et GT9 décrits en début du rapport. L'objectif de ce GT est de déterminer la chaîne de valeur associée à ce futur secteur du recyclage des batteries lithium issues majoritairement de la mobilité (véhicules électriques ou hybrides) et des applications industrielles. Une fois cette chaîne identifiée, nous apporterons des éléments chiffrés sur la valeur des services ou prestations industrielles apportés par les différents acteurs au cours du recyclage de ces batteries, ce qui permettra de déterminer ou d'anticiper les futurs modèles d'affaires qui vont se développer. De plus, la valeur de certaines matières (métaux) stratégiques présentes dans les batteries, en fonction de leur degré de pureté dans les étapes du recyclage, a été étudiée.

Afin de pouvoir déterminer les différents points présentés ci-dessus, il est apparu nécessaire dans un premier temps de connaître l'état des technologies aujourd'hui utilisées et leur niveau de maturité.

### V.1 *Différentes options métallurgiques de recyclage*

Aujourd'hui, le recyclage des batteries lithium est principalement réalisé sur des volumes provenant des flux portables (piles et accumulateurs). Ces volumes, dont la technologie majoritaire utilisée est celle du Li-ion (lithium sous la forme d'un sel chimique), avaient historiquement suscité un fort intérêt des recycleurs en raison de la présence d'une électrode très riche en cobalt qui en faisait la valeur de la batterie mais aussi son coût à l'achat. Au fur à mesure du développement industriel de cette technologie et de la demande toujours plus importante, des variantes ont vu le jour avec comme majeure différence la baisse de la teneur en cobalt voire même la disparition de celle-ci au profit d'autres éléments moins coûteux. Parallèlement, d'autres technologies utilisant du lithium métal ont été développées mais les procédés de recyclage et les acteurs positionnés sur ce marché spécifique sont très peu nombreux.

En général, les industriels du recyclage utilisent une combinaison de méthodes physiques et chimiques pour le recyclage des batteries lithium et la Figure 23 ci-dessous présente les deux principaux procédés utilisés : la pyrométallurgie et l'hydrométallurgie. Des pré-traitements ou des étapes de séparation peuvent venir s'ajouter à ces deux procédés. De manière très synthétique, les deux procédés peuvent être décrits de la manière suivante:

- **Le procédé pyrométallurgique** consiste à chauffer à haute température des batteries ou des éléments des batteries (modules, cellules) après une étape de prétraitement qui peut être du démantèlement ou du broyage, afin de récupérer les métaux sous forme d'alliages.



Le procédé est énergivore, exigeant des températures élevées (800-1500°C) et une gestion dédiée des gaz émis. Très efficace pour séparer les éléments métalliques (cobalt, nickel et cuivre,...), des autres éléments organiques présents (solvant, plastiques), il ne permet pas d'être sélectif entre les métaux et perd une certaine part de ceux-ci dans le laitier (lithium par exemple). Néanmoins les matières organiques permettent de générer de l'énergie et donc d'être utilisées comme combustible.

- **Le procédé hydrométallurgique** repose sur une succession de procédés chimiques utilisant des réactifs pour séparer et purifier les métaux présents dans les cellules des batteries. Bien évidemment, une étape de pré-traitement, par démantèlement, pyrolyse et/ou broyage est nécessaire pour accéder aux éléments chimiques présents dans la cellule. Ces premières étapes plutôt physiques seront suivies d'une lixiviation passage obligatoire avant toute séparation.

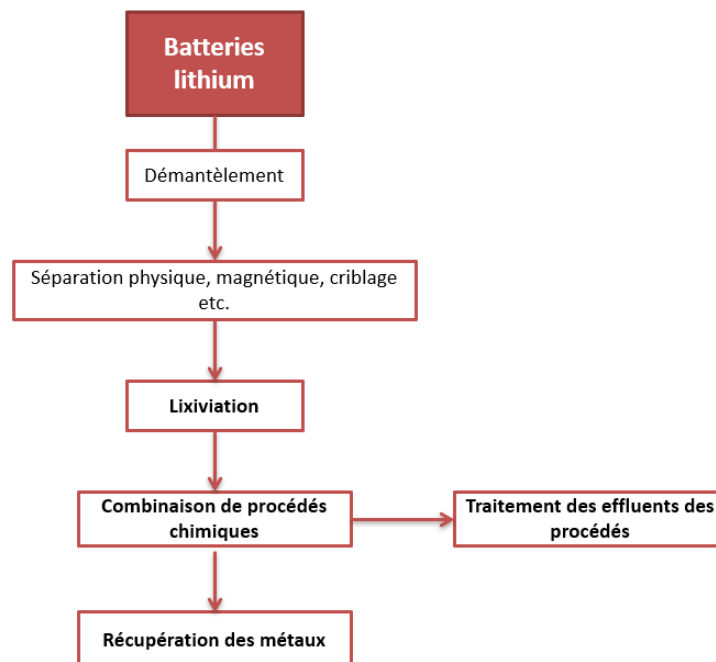
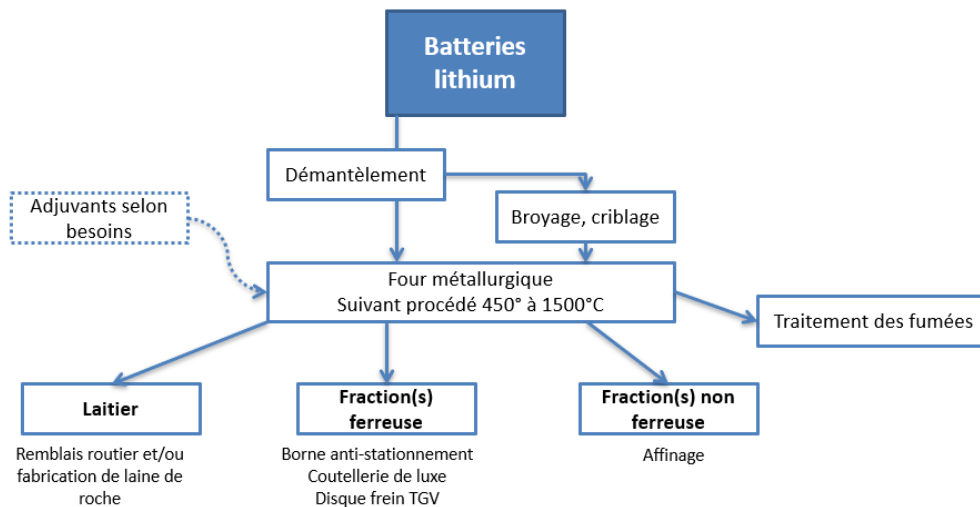


Figure 24: Procédés de recyclage des batteries lithium : pyrométallurgie et hydrométallurgie<sup>28</sup>

Dans le tableau suivant, nous avons essayé de mettre en avant les avantages et les inconvénients des deux procédés : la pyrométallurgie et l'hydrométallurgie.

Procédés recyclage	Avantages	Inconvénients
Pyrométallurgie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Utilisation des composés organiques comme sources d'énergie et agents de réduction</b></li> <li>• Etape de démantèlement des batteries parfois facultatives</li> <li>• Production d'un alliage métallique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procédé énergivore</li> <li>• Traitement des émissions gazeuses (formation de gaz toxiques et particules fines)</li> <li>• Taux de récupération des matériaux plutôt orienté vers les métaux (pas de récupération du carbone et des matières organiques)</li> <li>• <b>Métaux récupérés difficilement séparables entre eux /</b> Moindre possibilité de boucle fermée</li> <li>• <b>Pas de récupération du lithium</b> (possibilité d'en récupérer une partie dans les fumées mais procédé peu rentable actuellement compte-tenu du prix du lithium)</li> </ul>
Hydrométallurgie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Procédé plus sélectif pour les métaux</b></li> <li>• <b>Possibilité de boucle fermée et de récupérer le lithium et le carbone</b></li> <li>• Rendement de recyclage très élevé</li> <li>• Meilleure valorisation des produits (pureté des métaux récupérés)</li> <li>• Pas d'émission gazeuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procédé présentant beaucoup d'étapes (fonction du nombre d'éléments/composés à séparer) avec des barrières technologiques importantes</li> <li>• <b>Difficulté d'accepter une grande variabilité de produits entrants</b></li> <li>• Consommation d'eau et retraitement des effluents en sortie du procédé</li> </ul>

Figure 25: Avantages et inconvénients des procédés de recyclage des batteries lithium

Sur l'analyse de ce tableau et sur la base du marché existant, nous avons constaté que, dans la plupart des cas, des combinaisons de ces deux procédés avaient été mises en place. Le nombre de typologies existantes pour les batteries lithium et **la complémentarité des deux outils en fonction de l'objectif de purification à atteindre permet d'avoir accès à un plus grand nombre de filières avalées pour utiliser les métaux recyclés et donc d'être moins dépendant d'un secteur ou d'un autre.**

Par exemple, si nous prenons une batterie lithium de technologie NMC, les métaux présents à la cathode permettront en pyrométallurgie de rentrer dans l'élaboration d'un alliage métallique spécifique alors que

l'hydrométallurgie permettra d'aller vers la préparation d'un sel chimique. Indépendamment de l'aspect création de valeur, on constate que les deux voies sont envisageables et font sens économiquement.

- En ce qui concerne les batteries Lithium Metal Polymère, une technologie de recyclage et de valorisation du lithium contenu sous forme métallique dans les cellules, est développée par Blue Solutions<sup>29</sup>. Des taux de récupération de 90% du lithium ont été démontré au stade laboratoire en 2019
- A noter enfin le développement au stade R&D de nouveaux procédés dit de « Valorisation Directe » qui vise à récupérer l'électrolyte et les matériaux constitutifs des cathodes directement pour les réutiliser sans traitement métallurgique. La faisabilité et la rentabilité d'un tel procédé restent à démontrer.

## V.2 La chaîne de valeur du recyclage

La chaîne de valeur du recyclage des batteries se compose généralement de trois étapes majeures qui vont faire intervenir des acteurs industriels et/ou des prestataires de service en fonction des besoins :

- **La collecte des batteries** (spécialiste de la logistique, ou de la reverse logistique).
- La préparation avec la **mise en sécurité** et le **démantèlement** du pack (packaging, carte électronique, câbles), jusqu'à l'obtention d'éléments unitaires (échelle module ou cellule).
- **Le traitement de recyclage et l'affinage** selon les combinaisons de procédé.

Dans la majorité des cas, les étapes de préparation et de recyclage sont effectuées par le même acteur. La Figure 26 ci-dessous présente les différentes étapes de la chaîne de valeur et les services intermédiaires pouvant être apportés en plus du recyclage dans la chaîne. La collecte par exemple, étape purement logistique, peut faire intervenir un service de gestion de contenants spécifiques et de mise à disposition et de stockage pour le compte d'un donneur d'ordre.

La Figure 26 présente également des catégories pour les produits en sortie des procédés de recyclage, afin de pouvoir estimer la création de valeur associée. Trois catégories nous serviront de base pour notre étude:

- **Produits "Low Grade"**: Mélange de métaux peu concentrés.
- **Produits "Middle Grade"**: Métaux séparés et majoritairement purifiés.
- **Produits "Batterie Grade"**: Qualité précurseur synthèse cathode.

---

<sup>29</sup> Demandes de brevets déposées devant l'INPI en 2019.

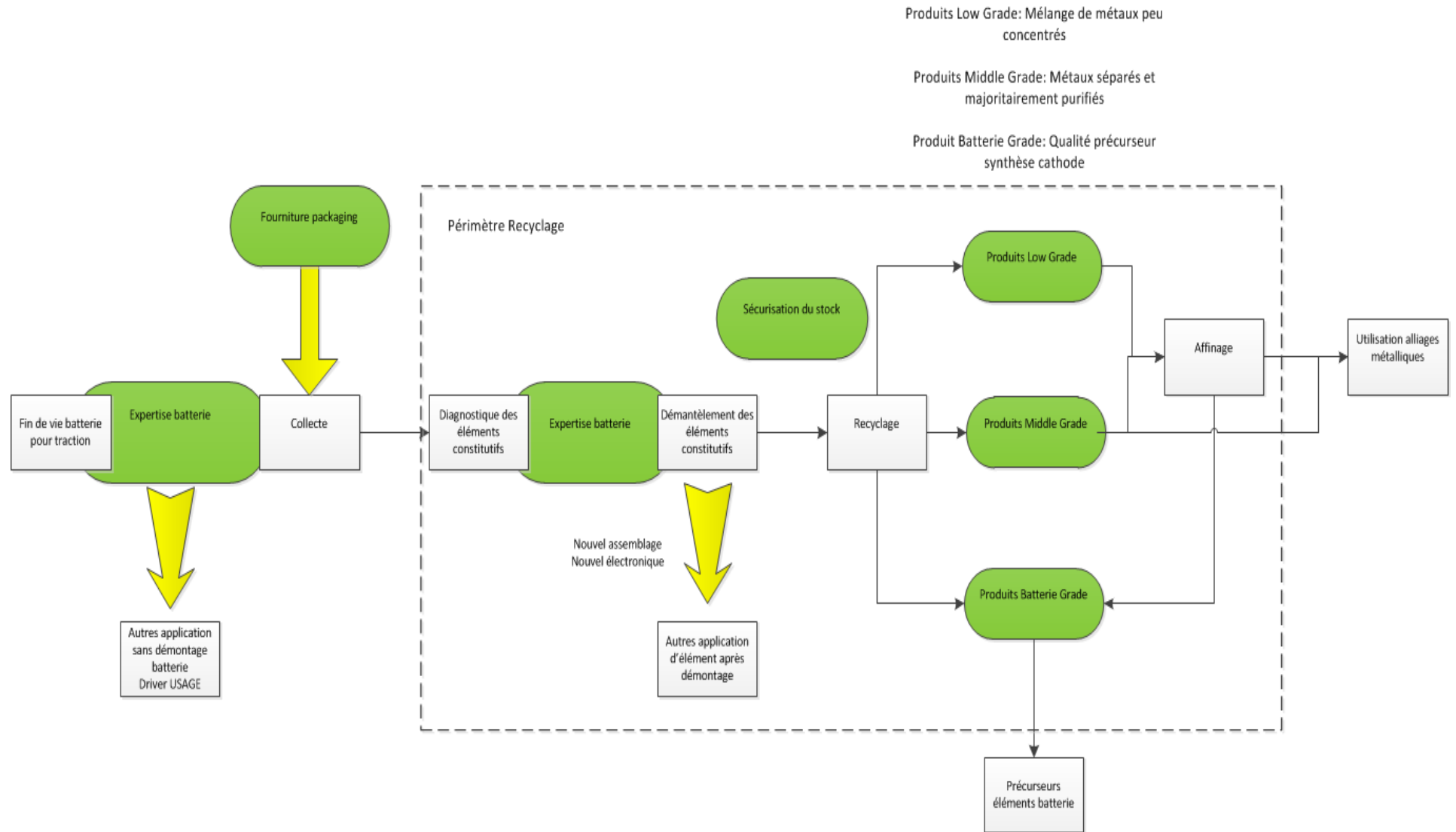


Figure 26: Détail des différentes étapes de la chaîne de valeur du recyclage des batteries lithium

### V.3 Benchmark et panorama concurrentiel

#### V.3.1 Acteurs français, européens et internationaux du recyclage des batteries

Les acteurs industriels français sont d'ores et déjà positionnés sur chacune des étapes de la chaîne de la valeur du recyclage et sont des acteurs mondialement reconnus dans le domaine (Eramet, SNAM, SARPI VEOLIA...). Leur capacité de traitement des batteries lithium est de l'ordre de plusieurs milliers de tonnes par an, ce qui excède aujourd'hui les besoins du marché. La durée de vie actuelle des batteries lithium étant supérieure à celle envisagée il y a quelques années, **les capacités actuelles répondent au besoin du marché français et même européen.**

Comme indiqué en partie II, ces capacités devront cependant augmenter afin de traiter des volumes en fin de vie en très forte croissance à partir de 2027, avec un effet de seuil important.

Une demi-douzaine d'acteurs industriels clés sont identifiés dans le secteur du recyclage des batteries lithium au niveau européen.

Société	Pays	Capacité de traitement estimée de Li-ion EVs (t/an batteries, 2018)	Procédés de recyclage
<b>Eurodieuze SARPI Veolia</b>	France	2 000	Broyage, hydrométallurgie
<b>SNAM</b>	France	3 000	Broyage, pyrolyse, hydrométallurgie
<b>Umicore</b>	Belgique	6 000 / 7 000	Pyrométallurgie, hydrométallurgie
<b>Accurec</b>	Allemagne	1 000	Broyage – production d'une blackmass*
<b>Redux</b>	Allemagne	500	Broyage – production d'une blackmass*
<b>NickelHütte</b>	Allemagne	< 1 000 ?	Hydrométallurgie
<b>Akkuser</b>	Finlande	< 1 000 ?	Broyage – production d'une blackmass*

Figure 27: Acteurs industriels européens positionnés en 2019 dans le secteur du recyclage des piles et accumulateurs

\* La blackmass, ou l'alliage de métal concentrant les matériaux actifs Ni, Co, Li, Al, Cu, Mn issu du prétraitement, peut être traitée par voie hydrométallurgique selon un procédé relativement similaire à celui du traitement de concentré de Ni/Co issu du traitement des latérites de nickel. **La récupération du lithium contenu dans la blackmass est à notre connaissance inexistante en Europe.**

Au niveau européen, peu d'acteurs semblent aujourd'hui disposer de l'expérience et savoir-faire en hydrométallurgie nécessaire pour se positionner sur cette activité de raffinage de blackmass ou d'alliage métallique en **produit qualité précurseurs batterie**.

Umicore semble avoir pris un avantage considérable en ayant développé un modèle complètement intégré de la collecte à la fabrication de matériaux pour cathode. Néanmoins, la voie pyrométallurgique employée par ce dernier semble plus adaptée au traitement de faibles volumes de batteries LCO qu'au traitement de volumes importants de batteries NMC ayant une valeur intrinsèque totale beaucoup plus faible et pour lesquelles la valeur lithium ne pourra plus être négligée.

L'offre actuelle au niveau mondial est inégalement répartie :

- **Une capacité de plus de 10 000 t/an est estimée sur le continent nord-américain (Immetco, Retrieval Technologies, mais surtout Glencore** possédant de fortes compétences pyrométallurgiques et hydrométallurgiques au Canada sur leur site de Sudbury – capacité estimée supérieure à 3 000 t/an).
- Quelques acteurs japonais rassemblent aussi ces compétences métallurgiques, notamment **Dowa Eco-System Co Ltd, Nippon Recycle Center Corp, Sumitomo Metal Mining**, pour une **capacité totale japonaise estimée à moins de 5 000 t / an**.
- **L'acteur sud-coréen SungEel HiTech a à lui seul une capacité importante estimée à 8 000 t/an**, avec un procédé hydrométallurgique relativement développé, avec des produits de qualité batterie et qui pourrait valoriser le lithium. **SungEel** est actuellement en plein expansion avec la création de filiales en Malaisie, en Inde et en Hongrie, ainsi qu'une coentreprise aux États-Unis.
- **L'offre chinoise est beaucoup plus importante** avec une dizaine d'acteurs tels que **Brunp Recycling Technology** (détenue par le fabricant de batteries **CATL**), **New Energy Materials** (filiale de **Fangyuan Environmental Protection**), **Soundon New Energy, Green Eco-Manufacture Hi-Tech (GEM), Huayou**, avec pour certains de ces acteurs des capacités annoncées supérieures à 60 000 t/an. Contrairement aux acteurs européens (hors **Umicore**), la plupart de ces recycleurs travaillent en boucle fermée (produisant des produits battery grade) et ont des installations, notamment hydrométallurgiques qui peuvent alternativement utiliser des produits intermédiaires issus du recyclage (blackmass issue d'étapes amont de calcination et broyage) ou issus d'un feed primaire (de mines). Ces acteurs sont aussi, pour les plus importants d'entre eux, intégrés fortement avec une production de précurseurs et matériaux pour cathodes sur les mêmes sites industriels.

Cette offre chinoise s'est initialement développée grâce à l'important marché de l'électronique portable, mais est désormais tout à fait adaptée au recyclage de batteries lithium issues de la mobilité. La plupart de ces acteurs ont annoncé des investissements conséquents pour accroître la capacité de leurs installations. **Soundon New Energy** a annoncé 130 M€ d'investissements pour pouvoir traiter 100 kt/an

de batteries, **GEM** et **Huayou** ont toutes les deux des plans d'investissements équivalents pour dépasser les 100 kt/an de capacité chacun. GEM ambitionne ainsi de collecter et valoriser 30% des batteries de voitures électriques chinoises.

**Il est probable qu'en complément de leurs investissements dans des gigafactories européennes de production de batteries lithium, les acteurs asiatiques, notamment chinois et coréens, investissent dans de nouvelles capacités de recyclage sur le sol européen.**

### V.3.2 Focus sur le modèle chinois

L'industrie du recyclage des batteries lithium est en Chine à un niveau de développement beaucoup plus avancé qu'en Europe. Ceci s'explique par :

- **Un accès à un stock important de batteries lithium** en provenance du monde entier et importées via la récupération d'équipements électroniques. Cet accès à des batteries usagées a permis à de nombreux recycleurs chinois de se développer au détriment des acteurs européens qui sont toujours dans l'attente de volumes plus significatifs à traiter dans leurs usines.
- **Un effet d'échelle et/ou des coûts opératoire plus compétitifs permettant aux recycleurs chinois de mieux valoriser économiquement les métaux présents dans les batteries** et ainsi dans certains cas d'acheter des batteries lithium en fin de vie. Le modèle européen par comparaison est lui aujourd'hui négatif ce qui signifie des coûts de recyclage supérieurs à la valeur créée.
- **La présence de nombreuses usines de batteries** pour véhicules électriques générant des rebus de fabrication permettant à des recycleurs de disposer de matériaux à recycler en complément des batteries usagées.
- **Un développement important du véhicule électrique** notamment pour les scooters et les bus commençant à générer des volumes importants disponibles pour le recyclage.
- **Un souci de diversifier l'approvisionnement en lithium, cobalt et nickel** pour lesquels la Chine dépend d'importations (problématique de sécurisation de l'approvisionnement en matières premières).
- Il semble par ailleurs que de nombreux recycleurs chinois comme GEM ou Huayou se soient intégrés vers la fabrication de précurseurs et matériaux pour batterie en synergie avec des opérations de traitement des concentrés Ni/Co du secteur primaire. **Cette complémentarité entre sourcing primaire et secondaire** est logique car utilisant un procédé relativement similaire. Cette double activité permet de faire bénéficier à l'opération de recyclage de synergies contribuant à en abaisser son coût.

### V.3.3 De nouveaux acteurs, uniquement à l'international

De nombreuses start-up investissent dans de nouveaux procédés et de nouvelles capacités à travers le monde :

- **American Manganese Inc** (USA) est une ancienne société minière ayant mis au point une méthode hydrométallurgique de recyclage des batteries et de formation de précurseurs NMC et NCA de qualité batterie. Ils espèrent pouvoir démarrer une capacité de 1 100 t/an de traitement à partir de 2020.
- **Li-Cycle Technology** (Canada) est une start-up en phase pilote qui a aussi pour ambition de valoriser les matériaux actifs, lithium inclus, sous une forme battery grade.
- **Duesenfeld** (Allemagne) issu du projet collaboratif **Lithorec** réunissant des industriels, notamment des OEMs (Audi, VW) et des chimistes (HC Starck) et des universités, démarre actuellement une capacité de traitement hydrométallurgique (<1 000 t/an ?) pour produire des sels métalliques battery grade.
- **Lithion Recycling** (Canada) est un projet issu d'un consortium canadien qui vise la construction d'une usine pilote (12 M\$) de recyclage par voie hydrométallurgique des batteries lithium d'une capacité de 200 tonnes/an en 2019, permettant la récupération d'hydroxyde de nickel, de carbonate de lithium, de cobalt et de manganèse (formes non divulguées), et de graphite, tous de qualité batterie.
- **ReCell** (USA) est le premier centre de R&D sur le recyclage des batteries lithium lancé par le DOE (Département de l'Énergie des États-Unis) début 2019, doté de 15 M\$ sur trois ans. Le DOE a pour objectif de réduire le coût des batteries de véhicules électriques à 80 \$/kWh par l'utilisation des matériaux recyclés des batteries lithium dans des batteries neuves.
- **Volkswagen** (Allemagne) envisage de lancer en 2020 un projet pilote de recyclage dans une usine à Salzgitter, en Allemagne, avec un objectif de traitement d'environ 1 200 t/an de batteries lithium.
- **Neometals** (Australie) a développé un procédé de recyclage des batteries Li-ion afin de récupérer essentiellement le cobalt. Récemment, au Canada, cette société a construit une usine pilote de recyclage par voie hydrométallurgique de batteries lithium.
- **Northvolt** (Suède) a aussi indiqué développer un pilote pour recycler des batteries lithium en boucle fermée dès 2020 pour alimenter sa gigafactory en matières premières de qualité batterie. Ils ont annoncé un démarrage en 2022 pour une capacité de traitement de 25 000 t/an, ce qui leur permettrait d'alimenter 50% de leurs besoins en cobalt.

#### V.3.4 Conclusions préliminaires sur le positionnement de la filière de recyclage française

Deux modèles ont historiquement fait émerger une offre de recyclage de batteries dans le monde.

Le premier modèle se donne comme **priorité la gestion environnementale de la fin de vie des batteries**. Déjà mis en place en Europe et en France, il permet de produire des métaux d'alliages, dont la pureté n'est



cependant pas celle requise pour la fabrication de nouvelles batteries. Les dépenses d'investissement, coûts de traitement et risques liés à ce modèle sont moindres que ceux du second modèle.

**Le second modèle, au-delà des enjeux environnementaux, vise à produire des précurseurs de matériaux actifs de cathodes** (carbonate de lithium, lithium métal, sulfate de nickel et de cobalt, etc.) qui pourront donc être réutilisés dans des batteries.

**Alors que les recycleurs français, mais aussi européens, se sont développés sur le premier modèle, le second modèle en « boucle fermée » est appelé à se développer dans les prochaines années, contribuant ainsi à l'indépendance d'une filière française / européenne de fabrication des matériaux de cellules de batteries et maximisant la valeur ajoutée de l'industrie française. Il est théoriquement plus rentable.**

**La complémentarité des deux modèles justifie ainsi un développement de la filière pour des raisons économiques mais aussi stratégiques.**

Il est primordial que toutes les étapes de la chaîne de valeur recyclage soient en Europe (Figure 25), sans discontinuité, pour assurer que le produit final puisse être utilisé dans notre industrie, car sinon aucun acteur économique n'aura intérêt à développer une industrie du recyclage, si ce n'est pour répondre à minima aux exigences réglementaires. Ainsi, les recycleurs français seraient contraints de devenir des producteurs de blackmass, produits intermédiaires qui sortiraient de France ou d'Europe pour alimenter des industries étrangères.

Dans le cas d'un modèle en boucle fermée, **cela implique que l'industrie du recyclage ne se développera qu'en lien avec l'industrie avale de production de matériaux pour batteries, et donc avec l'émergence de gigafactories sur le sol français ou européen. Dans le cas contraire, le développement de notre filière recyclage à un niveau suffisant pour traiter tous les volumes attendus sur le marché français serait très incertain** : sans demande, l'offre ne se développerait que par la motivation réglementaire des OEMs, qui pourraient trouver des alternatives à une offre française et/ou européenne.

La France est actuellement bien positionnée pour collecter les batteries usagées, les traiter de manière à réduire leur impact environnemental et les valoriser pour en extraire des produits vendables.

Elle dispose d'atouts pour devenir le leader européen du recyclage des batteries, mais **se laisse distancer par ses partenaires européens et par ses concurrents internationaux**. La France est en effet l'un des pays les mieux dotés en Europe en termes de couverture de la chaîne de valeur des batteries, avec des leaders mondiaux de la fabrication de batteries, du recyclage et des technologies métallurgiques de transformation. **Cependant, la filière française doit accélérer ses investissements, pour conserver ses parts de marché et ne pas accroître son différentiel de compétitivité avec la concurrence étrangère.**

**Les acteurs extra-européens qui se sont installés dans l'Union européenne sur le segment de la fabrication des batteries devraient se développer également sur le marché du recyclage.** Ces concurrents internationaux lancent en effet des programmes ambitieux, tout à la fois en termes de capacités de traitement et de maximisation de la valeur ajoutée (produits de qualité batterie).

**Un risque identifié par la filière serait de réduire l'industrie française à un rôle de fournisseur de produits intermédiaires et peu raffinés à d'autres recycleurs hors de France. Ces derniers contrôleraient ainsi la ressource secondaire, à forte valeur ajoutée, et en priveraient les filières industrielles françaises et européennes.**

#### **V.4 Organisation, coûts et création de valeur sur la chaîne du recyclage**

##### **La collecte des batteries lithium**

Pour rappel, les accumulateurs lithium employés pour la mobilité et les applications stationnaires sont classifiés de type « industriels » avec des durées de vie de 4 à 20 ans. La particularité de ces types de batteries est qu'ils sont souvent importants en volume et déjà massifiés par les OEMs.

**Les modes de gestion de la collecte sont déjà structurés, notamment autour des OEMs, et la création d'un système de Responsabilité Elargie du Producteur comme celui présent pour les batteries portables n'a pas de sens pour ces batteries lithium « industrielles ».**

La majorité des acteurs choisissent une organisation en système individuel avec la contractualisation d'acteurs spécialistes de la logistique ou des recycleurs capables d'assurer la collecte. Le business modèle est purement de la "reverse logistique" et les coûts associés à cette partie sont clairement liés aux volumes et à la capacité des acteurs à massifier les flux en des points stratégiques.

Avec l'augmentation des volumes dans les années à venir, ces coûts devraient être moins importants pour les donneurs d'ordres. Néanmoins, les risques associés à ces batteries et la réglementation du transport de matières dangereuses ne permettront peut-être pas de diminuer très significativement les coûts. De plus, dans le cas des batteries endommagées, les besoins en emballages spécifiques et homologués pourraient devenir significatifs avec la pénétration sur le marché des véhicules électriques. Ces emballages pourraient nécessiter la création de services de gestion, de contrôle et de réparation particuliers. Enfin, certaines batteries, notamment celles issues du secteur automobile, pourront nécessiter une première expertise afin de les réorienter vers des applications spécifiques de « seconde vie ». Elles renforceront par conséquent les besoins en diagnostic et démantèlement.

## Le diagnostic et le démantèlement

Cette étape est indispensable pour assurer la sécurité des installations et des personnes. De plus, elle offre une meilleure efficacité du recyclage par l'extraction d'éléments, de pièces ou de matériaux de qualité qui peuvent être réorientés vers des filières existantes. L'étape de démantèlement est aujourd'hui majoritairement manuelle est le business model associé est fortement dépendant des OPEX. **La standardisation des modèles et l'augmentation des volumes pourront néanmoins permettre, à terme, une automatisation de cette étape par la robotisation.**

Cette étape de démantèlement est également le point d'entrée à la seconde vie d'éléments provenant de ces batteries lithium. Grâce à leur expertise, certains acteurs pourraient ici proposer de réutiliser, après préparation (analyse, re-packaging, ajout d'électronique...), des batteries possédant des caractéristiques techniques différentes de celles initiales pour des nouvelles applications. Il est aujourd'hui très difficile d'identifier les modèles d'affaires associés à cette seconde vie car les volumes en fin de 1ère vie sont faibles (voire partie III). Néanmoins, en fonction de la valeur créée lors de cette deuxième utilisation, les coûts associés à la collecte et au recyclage pourraient être réduits.

## Le recyclage des éléments unitaires

Cette étape comporte de nombreuses barrières technologiques liées à la métallurgie employée pour valoriser les différents métaux de la batterie.

Les procédés associés au recyclage des métaux nécessitent des **unités industrielles de taille importante pour pouvoir absorber des CAPEX significatifs**. Sur la base des hypothèses de ce rapport, le marché européen n'atteindra cette taille critique qu'après 2027.

Au niveau des OPEX, les coûts varieront suivant le procédé : coût énergétique important pour les procédés pyrométallurgiques et coûts de consommation de réactifs pour les procédés hydrométallurgiques. Ces coûts opératoires sont très dépendants du type et de la chimie des batteries recyclées. **Aujourd'hui, en ce qui concerne les batteries lithium issues de la mobilité, il est très difficile que ces opex soient compensés par la vente des métaux extraits et recyclés (marge d'EBITDA négative).**

Deux modèles d'affaire coexistent dans les offres de recyclage des batteries :

- Des formules de rachat des métaux contenus indexées sur les cours des métaux minorés par des frais associés au procédé de recyclage (i.e. le recycleur prend tout ou partie du risque prix sur les matières premières).

- Des coûts de recyclage à la tonne établis pour des durées de contrat données (modèle « cost + fee », le recycleur n'est rémunéré que pour sa prestation, avec sa marge commerciale fixée par contrat).

Afin d'analyser ces deux modèles, nous avons étudié sur la base d'hypothèses de valeurs des produits extraits lors du recyclage, la valeur créée en fonction des cours des métaux et de la qualité des produits.

#### V.4.1 Déterminants des modèles d'affaires : exemple du nickel

Pour déterminer la valeur créée lors du recyclage nous avons considéré trois qualités de produits ("low grade", "middle grade", "batterie grade") auxquelles nous avons associé une valeur correspondant à un pourcentage du cours de cette matière au LME :

- Low grade 20% de la valeur du cours.
- Middle grade 50% de la valeur du cours.
- Batterie grade LME + prime soit 110% de la valeur du cours.

Les pourcentages utilisés sont des valeurs estimées et peuvent varier en fonction des impuretés dans les produits générés ou de l'état du marché. La valeur créée par tonne de batterie est ensuite déterminée sur la base d'un rendement d'extraction et de la quantité moyenne de métaux contenus.

La Figure 27 ci-dessous présente les résultats obtenus pour le nickel. A noter : la valeur pour une utilisation de l'élément en tant qu'alliage (catégorie 3) et sa valeur à 100% du cours (catégorie 4) sont également donnés.

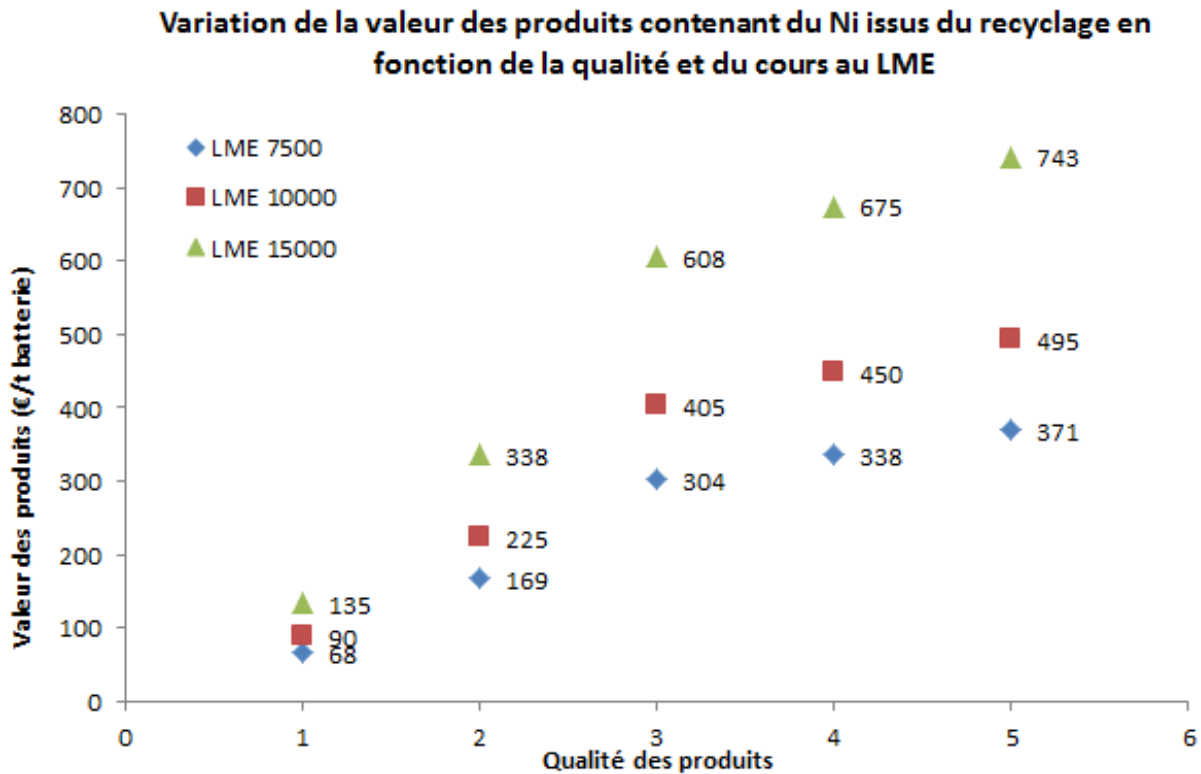


Figure 28: Valeur des produits extraits contenant du Ni par tonne de batterie

Sur la base de cette modélisation, nous pouvons constater que la création de valeur entre un produit peu purifié et le “grade batterie” est importante et que l’écart est d’autant plus grand que le cours du métal est élevé. Néanmoins, si nous regardons le profil de création de valeur, il se tasse au fur à mesure de l’amélioration de la qualité montrant ainsi que la création de valeur n’est plus significative à partir d’un certain niveau. Par exemple, entre la qualité alliage (qualité 3) le “grade batterie” (qualité 5) la création de valeur n’est que de 22%. A contrario, sur les cinq dernières années, la variation moyenne du cours du nickel montre que la valeur créée peut passer du simple au double sur une même qualité. La sensibilité des modèles d’affaire sera donc très liée au cours des métaux.

#### V.4.2 Simulation de la valeur créée pour les principaux métaux de la batterie (Co, Cu, Li)

Sur la base des compositions de modules et de cellules décrites au chapitre II et à des cours raisonnables des matières premières<sup>30</sup>, la valeur maximale récupérable des oxydes métalliques (Ni, Co, Li, Mn) contenus dans un module de batterie est comprise entre 3,4 et 4,3 \$/ kg de module ou 15 à 19 \$/kg de cellule. Cette valeur peut être comparée à la valeur intrinsèque contenue dans un minerai de Ni/Co dont les plus riches atteignent à peine 0,4\$/Kg.

<sup>30</sup> 14\$/Kg Ni (LME), 55\$/Kg Co (LME), 12\$/Kg Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Ramené à un véhicule électrique de 40 kWh, la valeur de ces oxydes métalliques représente entre 1 055\$ et 1 248\$ par véhicule.

		<b>NMC111</b>	<b>NMC622</b>	<b>NMC811</b>	<b>NMC532</b>	<b>LMO</b>	<b>NCA</b>	<b>LCO</b>
Matériau pour cathode	\$/Kg	19.7	17.3	15.6	16.6	6.4	17.4	38.2
Cellule	\$/Kg	6.0	5.3	4.8	5.1	1.9	5.3	11.8
Module	\$/ Kg	4.3	3.8	3.4	3.6	1.4	3.8	
<b>Par VE</b>	<b>\$/ VE</b>	<b>1248</b>	<b>1105</b>	<b>997</b>	<b>1055</b>	<b>396</b>	<b>1104</b>	

Figure 29. Valeur récupérable dans les différents éléments d'une BVE (hors Al, Cu)

Cette valeur est inégalement répartie, avec une forte prédominance du cobalt et du nickel, la quantité de lithium restant stable quelle que soit la chimie de cellules considérée.

		<b>NMC111</b>	<b>NMC622</b>	<b>NMC811</b>	<b>NMC532</b>	<b>LMO</b>	<b>NCA</b>
<b>Matériau pour cathode</b>	<b>% val tot</b>	<b>89%</b>	<b>89%</b>	<b>88%</b>	<b>88%</b>	<b>72%</b>	<b>89%</b>
Li	% val tot	20%	20%	21%	21%	51%	19%
Co	% val tot	46%	29%	15%	30%	0%	20%
Ni	% val tot	20%	37%	51%	33%	0%	48%
Mn	% val tot	2%	1%	1%	2%	17%	0%
Graphite	% val tot	1%	1%	1%	1%	3%	1%
<b>Métaux</b>	<b>% val tot</b>	<b>11%</b>	<b>11%</b>	<b>12%</b>	<b>12%</b>	<b>28%</b>	<b>11%</b>
Al	% val tot	6%	6%	6%	6%	15%	6%
Cu	% val tot	4%	4%	4%	4%	11%	4%
Fe	% val tot	1%	1%	1%	1%	3%	1%
<b>TOTAL</b>	<b>% val tot</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Figure 30. Valeur récupérable dans les différents éléments d'une BVE (hors Al, Cu)

#### V.4.3 Conclusions préliminaires sur les modèles d'affaires

Le marché du recyclage des batteries lithium est un marché émergent, dont les procédés progressent, mais qui souffre toujours du manque de volumes à traiter. Son industrialisation n'est pas mature. Les coûts de traitement demeurent élevés mais baisseront inévitablement avec l'accroissement des volumes ainsi que les progrès technologiques.

**Cette analyse montre que les modèles d'affaire avec des coûts fixes de recyclage (base « cost + fee ») sont trop risqués dans le temps pour les acteurs du recyclage et donc obèrent leur capacité de financer leur investissement d'augmentation de capacité.**

**En fonction des cours des matières, la création de valeur obtenue par le recyclage permettra d'absorber une part plus ou moins importante des coûts de traitement associés.** De ce point de vue, le cobalt, le nickel et le lithium apparaissent comme les métaux dont la valeur restera la plus élevée.

Aujourd'hui cependant, au regard des volumes traités, de la valeur créée et des variations des cours des métaux, **le niveau de rentabilité de l'activité de recyclage des batteries lithium issues de la mobilité reste faible, voire négatif.**

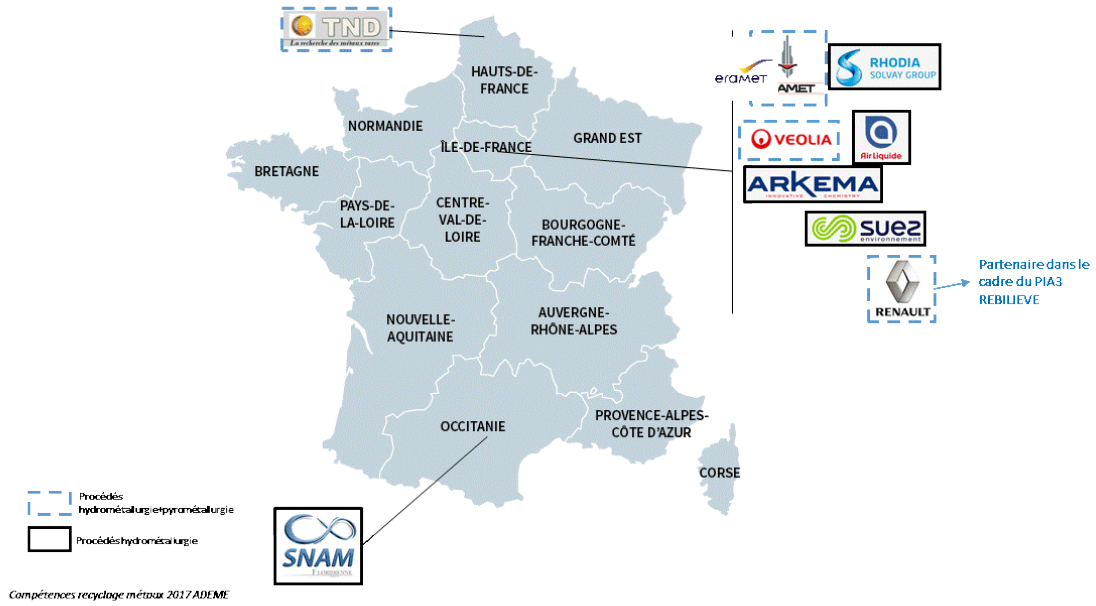
**Afin de pérenniser la filière et de financer les investissements nécessaires, l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur devront donc partager la valeur créée mais également les risques associés à la variation des cours des métaux : des modèles d'affaires doivent ainsi se mettre en place pour créer de la valeur aux différents niveaux de la chaîne du recyclage (collecte, démantèlement, traitement etc.).**

## **V.5 Etat des lieux et recommandations préliminaires de la R&D recyclage**

### **V.5.1 Panorama des acteurs R&D en France**

Les acteurs industriels français disposent de moyens de R&D internes et sont également impliqués dans des projets collaboratifs avec des acteurs académiques qui comportent des laboratoires spécialisés sur la thématique du recyclage (Figure), avec en tête de liste le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique), qui compte plus de 30 projets et le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) avec un peu plus de 20 projets sur la thématique du recyclage (Figure et Figure).

### A) PRINCIPAUX ACTEURS FRANÇAIS PRIVÉS



### B) PRINCIPAUX ACTEURS FRANÇAIS PUBLICS

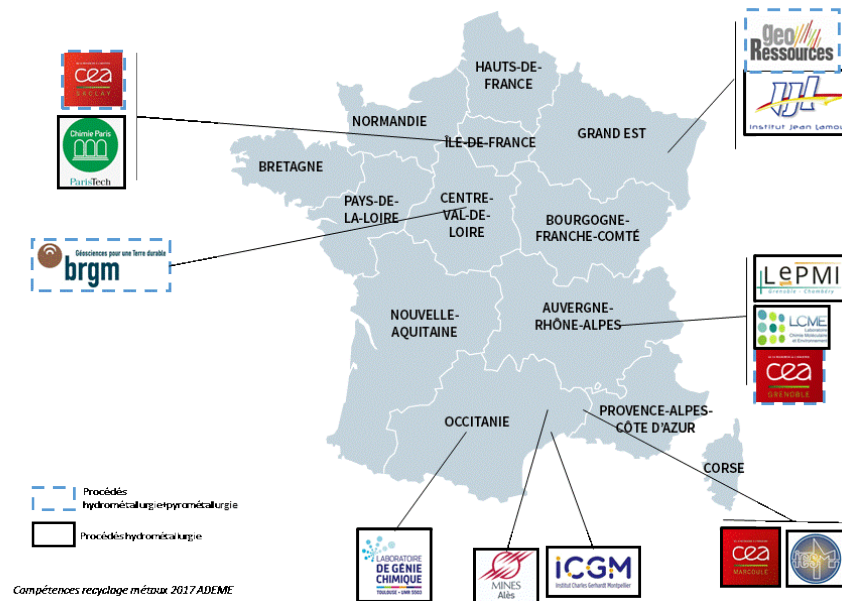


Figure 31: Les centres de recherche traitant de la thématique du recyclage en France : A) centres industriels et B) centres académiques



Type de partenariat	Acteurs	Objectif	Technologie	Financement
<b>Partenariats R&amp;D</b>				
Projet Cyclade (2013-2017)	Ineris, Derichebourg, LEPMI (public)	Produire du carbonate de lithium réutilisable	Développement d'un nouveau procédé hydro et recyclage des batteries li-ion	3,9m€ financé à hauteur de 2m€ par subventions et avances remboursables
Projet UEX2 (2015)	SNAM/CEA Grenoble	Recyclage et seconde vie par le diagnostic de la batterie Fin du projet en 2019	Couplage pyrolyse-hydr métallurgie	8,7m€ dont 2,7m€ subventionnés Financement ADEME
Projet REPUTER	CEA Marcoule et Grenoble, en partenariat avec l'ICMPE, LGC et SNAM			
Projet REMETOX (2014-2016)	BRGM, avec Terra Nova, Separex, ICARE et CEMHTI	Récupération et purification des terres rares issues du recyclage des batteries NiMH	Hydrométallurgie extraction par solvant (fluides supercritiques), technique électrochimique	750 000€ financés par l'ANR
DISSOL-ION (2012-2015)	CEA Marcoule, ICSM	Focus batteries liion, développer une solution d'extraction des métaux en particulier le lithium	Hydrométallurgie (lixiviation)	Montant non communiqué financé par le CEA et l'ICSM
<b>Partenariats industriels 100%</b>				
Projet RE-B-LIVE	SARPI VEOLIA/ Renault	Projet sur 3 ans lancé en 2014 avec comme site	Traitement des déchets à froid par procédé hydro	3,3 m€ dont 1 m€ subventionnés, financement par Programme
Partenariat recyclage des batteries industrielles (2010)	SNAM/ Toyota	Recyclage des batteries NiMH des véhicules hybrides (Lexus).	Pyrométallurgie	
Partenariat recyclage des batteries industrielles (2012)	SNAM/ Peugeot	Collecte et recyclage des batteries NiMH et li-ion	Pyrométallurgie	
Partenariat recyclage des batteries industrielles (2013)	SNAM/ Honda	Collecte et recyclage des batteries NiMH et li-ion pour les véhicules	Pyrométallurgie	
Partenariat recyclage des batteries industrielles (2014)	SNAM/ BMW	Collecte, élimination et valorisation des déchets	Pyrométallurgie	
Projet ReLieVe	Eramet, Suez, BASF	Proposer une offre intégrée, de la collecte et du démantèlement des batteries au recyclage des éléments qu'elles contiennent, jusqu'à la fabrication de nouveaux matériaux d'électrodes.	Procédé innovant en boucle fermée.	4,7 m€ financés par l'UE et les trois partenaires industriels.

Figure 32 : Exemples de projets publics ou privés dans lesquels les industriels renforcent la R&D du recyclage des batteries lithium

#### V.5.2 Bilan et recommandations préliminaires pour la R&D recyclage en France

**Le continuum entre la R&D et l'industrie doit être préservé et encore développé, pour une industrie durablement compétitive** : optimisation des procédés de recyclage, obtention des puretés particulières de métaux, adaptation aux chimies dites « tout solide » etc. La chaîne de valeur de la batterie doit désormais être regardée selon une approche verticale des produits de base jusqu'au recyclage.

Les prévisions du marché du recyclage montrent que les recycleurs vont devoir accroître leurs capacités de recyclage, pour affronter l'augmentation des besoins de traitement des batteries au lithium arrivant en fin de vie à partir de 2027 : la R&D du recyclage est donc à renforcer pour optimiser les produits finis et les coûts opératoires.

Au-delà de ce constat, la chaîne de la valeur de la batterie doit désormais être regardée selon **une approche verticale des produits de base jusqu'au recyclage** : une démarche ACV est donc systématiquement nécessaire pour optimiser l'écoconception des batteries (s'agissant du recyclage : des batteries conçues pour anticiper efficacement d'un point de vue technique mais aussi économique l'étape du recyclage).

**La R&D en France peut s'appuyer sur des organismes majeurs, notamment le CEA et le BRGM, qui fournissent des données et outils nécessaires à l'optimisation de la filière et à l'identification des procédés rentables** (meilleurs taux de pureté au meilleur coût). La création d'un pôle R&D public en charge de la technologie des batteries lithium (permettant des analyses du cycle de vie et technico-économiques) est de ce point de vue souhaitable au sein du CEA. Il permettra une intégration facilitée des innovations R&D et des moyens pilotes nécessaires aux feuilles de routes des recycleurs, guidés par les besoins du marché.

Un PIEEC (Projet important d'intérêt européen commun) relatif au recyclage des batteries, complétant celui sur la fabrication des cellules, est recommandé pour anticiper les investissements industriels et « dérisquer » la croissance de la filière.

## **V.6 Etat des lieux et recommandations préliminaires sur la réglementation recyclage**

### **V.6.1 Recommandations sur le transport de marchandises dangereuses**

- Les objectifs qui orientent aujourd'hui l'écriture des règles de transport (UN, et par mode comme l'ADR) sont :
  - Assurer le transport de la marchandise (concrètement : la solution réglementaire n'est pas d'interdire, sauf si on ne peut pas ramener le risque à un niveau acceptable).
  - Avec un niveau de risque minimum.
- Le groupe de travail propose de compléter ces objectifs par un troisième :
  - **Favoriser l'économie circulaire en facilitant la logistique retour des batteries usagées vers les entreprises du recyclage et de la réutilisation et le flux des matières premières secondaires issus de ce recyclage vers les industriels.**
- Rendre plus facile le transport d'objets lorsqu'ils présentent un haut niveau d'homogénéité (composition et état).

### **V.6.2 Recommandations sur le transfert transfrontalier**

Les recommandations sont les suivantes :

- Créer dans le règlement UE 1013/2006 **une procédure type 'pre-consented facility'** (similaire au règlement OCDE) en vue de faciliter et accélérer les formalités d'obtention des notifications de transfert transfrontalier.

- Sur le périmètre français, le groupe de travail demande que **le PNTTD (pôle national des transferts transfrontaliers de déchets) accorde de façon accélérée les notifications d'importations en faveur des recycleurs déjà identifiés.**

### V.6.3 Recommandation portant sur la mise en œuvre de la réglementation

Veiller à ce que la mise en œuvre de la directive batterie et des contrôles afférents aux exigences de leur recyclage soit déployée de façon homogène dans l'ensemble des états membres de l'Union européenne.

### V.6.4 Éléments relatifs au règlement REACH

#### V.6.4.1 Prise en compte de la spécificité des métaux dans les réglementations

Les réglementations ne sont pas toujours adaptées aux spécificités des métaux. Il suffit, pour s'en persuader, de rappeler quelques-uns de leurs mécanismes<sup>31</sup>:

##### *1° De la nécessité de prendre en compte la biodisponibilité des métaux<sup>32</sup>*

La toxicité des métaux est généralement liée à la formation d'ions métalliques. Ces derniers se forment lors d'une réaction d'oxydation, et seule la fraction métallique ayant réagi est dite biodisponible (c'est-à-dire, le plus souvent, susceptible de parvenir jusqu'à la circulation générale). Les alliages, dont l'une des propriétés principales et historique est justement la résistance à la corrosion, présentent ainsi généralement une infra-toxicité par rapport à leurs composants. Cet aspect est essentiel car il oblige à distinguer les propriétés intrinsèques d'un métal (le danger) des conditions d'exposition à celui-ci (le risque) et, plus particulièrement, de la forme sous laquelle se trouve le métal (notamment les formes poudres ou massives). Cette possibilité est prévue par l'article 12 b) du règlement CLP n°1272/2008 mais reste peu utilisée<sup>33</sup>. Au contraire, de nombreuses méthodes de tests (telle que la méthode T25 utilisée pour dériver le seuil de cancérogénicité d'une substance) ont été créées pour les substances organiques et ne rendent ainsi qu'imparfaitement compte des dangers et risques propres aux métaux.

##### *2° De la nécessité de prendre en compte les limites de substitution des métaux*

Les métaux sont des éléments chimiques et ne peuvent par conséquent être substitués à l'infini. En outre, leurs propriétés physicochimiques sont liées à leur configuration électronique, de telle sorte qu'un métal sera fréquemment substitué par un autre de la même colonne du tableau périodique des éléments. Ce faisant, une double limite existe :

---

<sup>31</sup> On notera que le *Chemicals Safety Act* américain de 2016 vise justement les métaux comme une catégorie à part de substances, pour lesquelles les règles de classification et les contraintes de substitution sont spécifiques. La loi renvoie directement à une méthodologie appropriée : <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-09/documents/metals-risk-assessment-final.pdf>

<sup>32</sup> Pour plus d'informations, consulter la section 1.3 du guide de l'ECHA sur les critères de classification.

<sup>33</sup> Le plomb métal (EC : 231-100-4) fait l'objet d'une classification harmonisée qui distingue les formes poudre et massive.

- La substitution la plus efficace impliquera potentiellement un métal dont les propriétés toxicologiques et/ou éco-toxicologiques sont comparables à celles du composé initial. En plus de limiter le gain pour la santé humaine et / ou l'environnement, cette situation crée un risque de nouvelle interdiction réglementaire à l'avenir. Cela est particulièrement problématique pour les programmes industriels longs, difficilement modifiables sans requalifications de tous les éléments, voire sans changements normatifs majeurs ;
- La plupart des métaux sont des coproduits, ce qui signifie qu'un minerai est généralement composé de plusieurs métaux qui se retrouvent ainsi liés d'un point de vue technique et économique pour leur extraction. Là encore, il ne peut être exclu, si l'on ne tient pas compte de cette particularité des métaux, que l'on élimine tout à la fois le métal incriminé et son substitut. Le bismuth est par exemple un substitut au plomb dans les soudures. En tant que coproduit de ce dernier, il pourrait cependant devenir moins disponible avec l'interdiction d'utiliser les composés du plomb.

### *3° De la nécessité de prendre en compte le temps d'immobilisation des métaux et l'interface des réglementations produits et déchets*

Les métaux, notamment les métaux de base (Fe, Al, Cu etc.) et d'alliage (Co, Ni, W, Mn etc.) composent des produits dont la durée de vie est souvent longue. Le cuivre est par exemple immobilisé pendant 30 ans en moyenne avant d'être recyclé. Dans le cas des batteries lithium, le temps minimum avant recyclage sera de dix à quinze ans et pourra même être rallongé si l'on tient compte d'une potentielle seconde vie.

Les réglementations chimiques évoluant rapidement, des métaux autrefois autorisés se retrouvent interdits, soumis à des obligations particulières de traçabilité, d'étiquetage ou encore à des mesures de gestion de risque renforcées. Ces obligations, légitimes du point de vue sanitaire ou environnemental, sont cependant susceptibles de créer des difficultés techniques et économiques pour les recycleurs se trouvant face à des substances héritées d'anciens procédés et non désirées. La présence d'impuretés peut ainsi venir renchérir les coûts du recyclage et pourrait même conduire à devoir extraire certains composés métalliques, en dépit des équilibres économiques de la filière, s'ils venaient à être interdits d'utilisation au titre du règlement REACH n°1907/2006. Il est ainsi essentiel de trouver un équilibre entre un environnement dans lequel le risque est maîtrisé, et l'accélération de la transition vers l'économie circulaire.

On notera enfin que ces obligations ou interdictions impactent plus durement les entreprises françaises et européennes que celles extra-européennes. **Une meilleure prise en compte des spécificités des métaux et du risque, ainsi qu'un traitement égal des entreprises, quelle que soit leur origine géographique, constituent ainsi des éléments essentiels de la compétitivité et de la pérennité des filières métallurgiques.**

#### V.6.4.2 Exemples pour la fabrication et le recyclage de batteries Li-ion : cobalt métal, sulfate de cobalt

##### *1° Proposition de classification harmonisée du cobalt métal*

En janvier 2017, l'Agence Chimique Européenne (ECHA) a publié le dossier néerlandais de proposition de classification harmonisée du cobalt métal dans le cadre de la réglementation CLP. Alors que l'industrie avait déjà classé volontairement depuis 2014 comme Carc 1B par inhalation et Repro 2, la proposition était d'étendre cette classification à :

- Carc 1B pour toutes les voies d'exposition, avec une SCL (Specific Concentration Limit) de 0,01%.
- Muta 2.
- Repr 1B avec une GCL (Generic Concentration Limit) de 0,3%.

En septembre 2017, le RAC (Risk Assessment Committee) de l'ECHA a publié son avis, en ligne avec le dossier néerlandais. La Commission Européenne a donc présenté en mars 2018 aux réunions CARACAL une proposition de révision de la classification du cobalt métal, qui est toujours en discussion.

Cette limite de concentration spécifique très conservatrice et ne considérant pas la biodisponibilité, ainsi que « toutes les voies d'exposition », auront des conséquences significatives pour l'économie circulaire et le recyclage des batteries.

En effet, le cobalt peut être présent à l'état de traces dans certaines scories issues, par exemple, du recyclage des batteries. Si l'utilisation de ces scories n'est plus possible comme matériaux de construction, ces matériaux devront être mis en décharge.

##### *2° Proposition de restriction des 5 sels de cobalt*

En décembre 2018, l'ECHA a proposé une restriction sur 5 sels de cobalt.<sup>34</sup>

La valeur d'exposition de référence (Reference Exposure Value (REV)) de 0.01 µg Co/m<sup>3</sup> pour le sulfate de cobalt (utilisé dans la fabrication des précurseurs de matières actives positives de type NMC ou NCA et également sel issu du recyclage des batteries lithium en fin de vie) et 4 autres sels de cobalt est susceptible, au mieux, de retarder et potentiellement d'empêcher les investissements stratégiques attendus à différents niveaux de la chaîne de valeur des batteries, investissements requis pour supporter le développement de la mobilité électrique en Europe.

Il est impossible de dire aujourd'hui comment et à quels coûts la limite proposée pourra être atteinte car cela dépasse la faisabilité technique actuelle.

---

<sup>34</sup>[https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/rest\\_cobalt\\_salts\\_pc\\_axv\\_info\\_note\\_en.pdf/e9dc7646-33c2-fae1-b09e-0001380681ff](https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/rest_cobalt_salts_pc_axv_info_note_en.pdf/e9dc7646-33c2-fae1-b09e-0001380681ff)

Les associations européennes représentant la chaîne de valeur des batteries (Recharge) et les recycleurs de batteries (EBRA) pensent que les coûts estimés par l'ECHA ne sont pas proportionnés à l'amélioration attendue sur la santé des travailleurs. De plus, il est important de noter que les conséquences stratégiques sur le développement de la mobilité électrique, incluant les créations d'emploi, n'ont pas été prises en compte.

#### V.6.4.3 Recommandation 1 – mieux tenir compte des spécificités des métaux dans le cadre des réglementations chimiques

- **Fonder les décisions réglementaires sur la prise en compte du risque et non pas seulement sur le danger.** Le risque pour les métaux doit par ailleurs être évalué en tenant compte de leur biodisponibilité. La mission appelle ainsi les autorités compétentes françaises à **soutenir le recours aux méthodes de bioélution, en cours d'élaboration.**
- **Améliorer l'interface des réglementations produits (REACH et CLP en particulier) et déchets (directive cadre déchets notamment),** et tenir compte du temps d'immobilisation des métaux dans les produits avant entrée en recyclage. Le recours à un critère d'économie circulaire dans les mécanismes de priorisation du règlement REACH, en particulier s'agissant des décisions d'inclusion à l'annexe XIV, est essentiel.

#### V.6.4.4 Recommandation 2 – quand les risques identifiés sont uniquement sur le lieu de travail, la législation spécifique au lieu de travail représente l'option de gestion des risques la plus ciblée, la plus efficace et la plus proportionnelle<sup>35</sup>

- L'ajout sur la liste des substances candidates et la procédure d'autorisation de REACH ou des restrictions drastiques n'apportent aucun bénéfice supplémentaire en matière de protection des travailleurs. Ces mesures peuvent en revanche avoir un impact négatif sur la réalisation d'objectifs politiques majeurs, comme la création d'une chaîne de valeur des batteries lithium en Europe.

---

<sup>35</sup><http://www.cii-reach-osh.eu/positions.html>

## **V.7 Etude lancée pour une analyse de l'impact environnemental d'un recyclage en France**

La fabrication et l'utilisation de véhicules électriques modifient sensiblement le profil environnemental des véhicules en comparaison des technologies conventionnelles. La fabrication de la batterie constitue l'une des étapes différenciantes du cycle de vie de ces véhicules. La batterie utilise en effet de nouvelles matières premières et de nouveaux procédés.

Dans un contexte d'approvisionnement de ces matières hors Europe, il est intéressant d'évaluer comment le recyclage en particulier en France peut contribuer à la fois à une diminution de notre dépendance aux matières premières et améliorer le profil environnemental du cycle de vie de ces batteries.

Afin de mesurer les impacts environnementaux associés à la mise en œuvre d'une filière française de fabrication et de recyclage des batteries, la DGE et l'ADEME ont engagé une étude d'impacts environnementaux basée sur les principes de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV). Cette étude permettra également de fournir des inputs renforçant la position française, notamment en réponse à la future directive européenne sur l'écoconception des batteries (production, utilisation et recyclage des batteries). **Des membres de la mission CNI recyclage batterie ont participé à l'établissement du cahier des charges de l'étude et participent au comité technique, dans le cadre du GT6 (impact environnemental), mené par Sophie Richet (PFA) avec la participation active des deux fabricants de cellules SAFT et BLUE SOLUTIONS.**

L'étude (appel d'offre clôturé fin décembre 2018 et démarrage le 10 janvier 2019, avec le prestataire sélectionné Thinkstep) a pour but de révéler, à la lumière de l'utilisation des méthodologies de l'analyse de cycle de vie (ACV), des éléments de différenciation en faveur d'une offre française dans **la production, l'utilisation (mobilité et stockage stationnaire) et le recyclage** des batteries rechargeables à base de lithium.

Ainsi, l'ACV de différents types de batteries lithium, dédiées à la mobilité et au stockage stationnaire sera réalisée, en intégrant toutes les phases du cycle de vie, de la fabrication des éléments des batteries au recyclage, et notamment, **en tenant compte de la zone géographique de fabrication, et des technologies utilisées.** Cette comparaison permettra potentiellement d'identifier plus finement des critères de différenciation permettant de valoriser la fabrication et le recyclage de batteries en France, voire en Europe. Néanmoins, cette étude ne sera réalisée que sur la base de données bibliographiques pour la partie recyclage, par manque d'accès à des données provenant directement d'industriels.

## **ANNEXES**



## ANNEXE 1

### Ventes de véhicules en 2018 en France

(le nombre de véhicules vendus est donné entre parenthèses)

<b>VEHICULES EN CIRCULATION ELECTRIFIES EN FRANCE</b>		
<b>Vente de vehicules en 2018</b>		
<b>VE</b>	<b>Hybride Rechargeable</b>	<b>Utilitaires</b>
Renault ZOE (12 765)	Volvo XC60 (1029)	Renault Kangoo ZE (3 280)
Nissan LEAF (3 801)	Mini Countryman PHEV (1024)	Renault ZOE (753)
BMW i3 (1 042)	BMW i3 REX (937)	Peugeot Partner (579)
Smart Fortwo (762)	Mercedes GLC (875)	Goupil G4 (495)
Peugeot Ion (673)	Volvo XC90 (705)	Citroen Berlingo (445)
Kia Soul EV (592)	BMW 225xe (735)	Nissan e-NV200 (427)
Tesla model S (587)	Mitsubishi Outlander PHEV (791)	Ligier Pulse 4 (162)
Hyundai ionic electric (473)	Volwagen Golf GTE (641)	Goupil G5 (82)
Citroen C zero (469)	Porsche Panamera PHEV (631)	Fiat Ducato (Gruau) (25)
Tesla model X (354)	Volwagen Passat GTE (576)	Nissan LEAF (34)
Volkswagen e-golf (314)	Porsche Cayenne S-E Hybrid (522)	Renault Master ZE (22)
Peugeot Partner Tepee electric (294)	Hyundai ioniq Plug-in Hybrid (460)	Peugeot Ion (18)
Smart ForFour (290)	BMW x5 eDrive (382)	Carré Galopin Loustic (8)
Citroen e-Mehari (195)	Kia Niro Plug-in Hybrid (354)	Colibus (6)
Volkswagen e-Up (142)	Audi A3 e-tron (288)	Ligier BeSun (4)
Citroen e-Berlingo Multispace (141)	BMW 530e (285)	Citroen C-Zero (3)
Jaguar e-Pace (94)	Toyota Prius PHEV (262)	Volkswagen e-up (2)
Bolloré blueCar (81)	Audi Q7 e-tron (228)	Goupil G3 (1)
Nissan e-NV200 Evalia (66)	Mercedes Classe C 350e (219)	Hyundai ionic (1)
Hyundai Kona électrique (36)	Mercedes GLE (180)	-
Bee-Bee XS (2)	Land Rover Range Rover (178)	-
-	Mercedes Classe E PHEV (156)	-

BMW 330e (137)
BMW 740e (89)
Kia Optima PHEV (62)
BMW i8 (51)
Volvo V90 PHEV (40)
Volvo S90 PHEV (18)
Volvo V60 PHEV (3)

Figure 33

## ANNEXE 2

### Définitions

L'essor des véhicules électriques et hybrides augmente le volume de **batteries neuves** au lithium mises sur le marché, renforçant les enjeux environnementaux et économiques de gestion en fin de vie de ces batteries.

Ces batteries seront obligatoirement **recyclées dans tous les cas** (directive batterie 2006/66/CE), mais elles peuvent avoir une « **seconde vie** » préalable compte-tenu de leur valeur positive en fin de « première vie » en véhicule électrifié.

#### Batteries neuves

La cellule lithium est principalement constituée de trois films : deux électrodes (une anode et une cathode) séparé par un film conducteur ionique et isolant électrique. La cellule est assemblée (complètement ou en partie) en salle anhydre, où elle est activée, puis scellée de façon étanche. Elle peut être de forme cylindrique, prismatique et son contenant est un sachet souple ou un boîtier rigide. Après une étape dite de formation électrique, **les cellules ainsi préparées sont « neuves »**.

Les cellules « neuves » sont connectées en série et/ou en parallèle en module puis souvent en packs batteries pour atteindre la tension et la capacité nécessaire à l'utilisation visée. **Ainsi, les modules et packs batteries assemblés à partir de cellules « neuves » sont dits « neufs » également.**

libellé	définition	image
<p>Batterie de traction (ou pack batterie)</p> <p>Remarque : RECHARGE appelle déjà « batterie », 1 seule cellule :</p> <p><b>Battery*</b>: any source of electrical energy generated by direct conversion of chemical energy and consisting of one or more primary battery cells (non-rechargeable) or consisting of one or more secondary battery cells (rechargeable).  <i>*the external jacket is part of the battery, and its recycling can be accounted for when calculating the recycling efficiency. Ref: Q&amp;A of the Batteries Directive published by the EU Commission (May 2014).</i></p> <p><b>Battery Pack*</b>: any set of batteries that are connected together and/or encapsulated within an outer casing so as to form a complete unit that the end-user is not intended to split up or open.  <i>* the outer casing belongs to the battery pack and not the battery itself and cannot be accounted for when calculating the recycling efficiency-NB. Ref: Q&amp;A of the Batteries Directive published by the EU Commission (May 2014).</i></p>	<p>Assemblé constitué de x modules Li-ion, d'un calculateur de pilotage, des câblages et des relais / résistances nécessaires à son fonctionnement.</p>	
<p>Module Li-ion</p>	<p>Assemblage de cellules Li-ion en série et ou parallèle dans un conditionnement unitaire permettant la manipulation et la connexion.</p>	<p>Cellules non détaillables en 2<sup>ème</sup> vie</p>

Figure 7 : Définition des batteries ou modules « neufs »

### Batteries « seconde vie »

Les modules ou packs batteries « seconde vie » ont déjà été utilisés pour un usage dans la mobilité électrique. Les cellules qui les composent peuvent donc être considérées comme partiellement usagées<sup>36</sup> car elles ont déjà cyclé et perdu une partie de leur capacité. Elles ont une valeur positive en fin de « première vie » : l'estimation retenue est que les cellules sont en fin de « première vie » lorsqu'elles détiennent encore 70 à 80% de leur capacité initiale, ce qui devrait arriver après 8, 10 voire 15 ans d'utilisation dans un véhicule électrique pour les premières générations de batteries Li-ion.

Les marchés de la « seconde vie » pourront être celui du stockage stationnaire, mais également ceux d'une nouvelle mobilité (petits engins électriques nécessitant moins d'énergie : vélo électriques, engins agricoles, petits bateaux électriques, ...).

Lorsque cela est nécessaire pour une adaptation à l'usage en « seconde vie », le désassemblage des packs batteries en fin de première vie n'est le plus souvent opéré que jusqu'à l'échelle module chez les constructeurs automobiles. Ce désassemblage peut toutefois aller jusqu'à l'échelle de la cellule comme cela est réalisé par le recycleur SNAM.



cat	N°	libellé	définition	image
2 <sup>ème</sup> vie	11	<b>Batterie 2<sup>ème</sup> vie</b>	batterie automobile qui a perdu une partie de sa capacité d'origine et qui est proposée à un usage hors véhicule (le plus souvent stationnaire pour stocker de l'énergie). Elle est utilisée sans démontage.	
2 <sup>ème</sup> vie	12	<b>Module 2<sup>ème</sup> vie</b>	Module automobile qui a perdu une partie de sa capacité d'origine et qui est proposé à un usage hors véhicule (le plus souvent stationnaire). Le module est obtenu après désassemblage de sa batterie d'origine. Les modules peuvent être utilisés à l'unité ou assemblés dans un nouveau pack d'architecture différente de la batterie d'origine.	

Figure 8 : Définition des batteries ou modules « seconde vie »

<sup>36</sup> Des véhicules accidentés pourront contenir des batteries neuves, potentiellement utilisable pour une « seconde vie »

## **ANNEXE 3**

### **Intérêt du V2G**

Compte-tenu des volumes croissants de VL (VL = BEV + PHEV) attendus ces prochaines années, la technologie V2G (véhicules connectables au réseau, qui pourraient restituer une part de l'énergie de leur batterie durant les heures de pointes et se recharger majoritairement en heure creuse par exemple) peut être envisagée avec les hypothèses suivantes :

- La technologie V2G apparaît dans les volumes des VL à partir de 2020 : 30% des VL seront des V2G à partir de 2020.
- 10% de la capacité des batteries des VL est mobilisable pour répondre au besoin en stockage stationnaire.
- Hypothèse de branchement : 50% des véhicules sont branchés en permanence (pour information, les statistiques démontrent que les véhicules roulent aujourd'hui en moyenne 1 à 2h, et sont plus de 22h en stationnement).
- Durée de vie des batteries dans les véhicules : 15 ans.

Avec les hypothèses ci-dessus, la Figure 9 montre que le besoin annuel en stockage stationnaire en Europe pour la flexibilité du réseau, est comblé par les V2G dès 2021.

Pour démontrer l'intérêt du V2G, il convient de préciser d'autres éléments :

- La capacité des batteries des VL est en croissance constante pour atteindre des autonomies élevées, ce qui signifie que le pourcentage d'énergie mobilisable pour le réseau pourra être revu à la hausse).
- Le besoin en stockage stationnaire proposé Figure 9 correspond au besoin en termes de flexibilité du réseau. Il est donc tout à fait prévisible, compte-tenu de l'énergie mobilisable avec les V2G, que cette énergie mobilisable puisse remplacer d'autres ressources électriques.

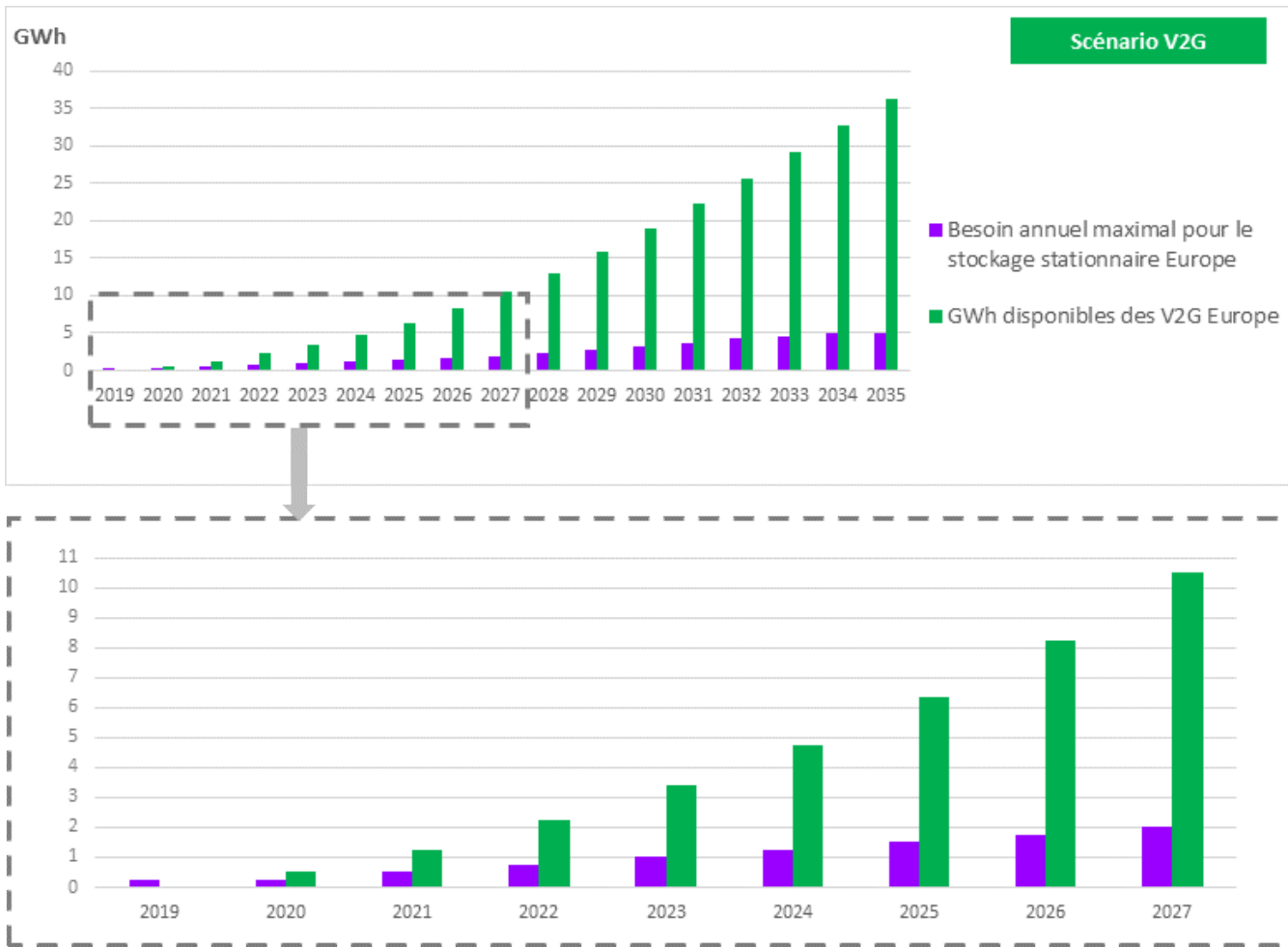


Figure 9 : Prévisions des flux annuels de GWh, mobilisable dans les batteries des V2G Europe, pour répondre au besoin annuel en GWh pour le stockage stationnaire

**Le V2G est à un stade expérimental aujourd’hui, mais les constructeurs automobiles envisagent déjà des premiers véhicules de ce type à partir de 2020, à hauteur de 30% du parc des véhicules électrifiés (VL=BEV+PHEV).**

**Dans ces conditions, dès 2020, en Europe, l’énergie mobilisable des V2G pourrait être en mesure de répondre aux besoins en termes de flexibilité du réseau. Et, à plus long terme, compte-tenu des GWh mobilisables, d’autres services plus ambitieux pourraient être rendus au système électrique.**